N. PATACHI
V. BABEȘ
A. KELEMEN
I. DANCEA
N. DRAGOMIR

ELECTROTEHNICĂ, INSTALAȚII ELECTRICE ȘI MAȘINI DE CONSTRUCȚII

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI — 1971

Lucrarea este destinată studenților Facultății de construcții, Secția clădiri civile, industriale și agricole. Poate fi utilizată și de către inginerii și tehnicienii care lucrează la proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor electrice, precum și exploatarea mașinilor de construcții.

La redactarea părții a doua a lucrării, s-a folosit ca material bibliografic și cursul de Mașini de construcții, redactat în manuscris, de către inginerul Csulak Acațiu, șef de lucări la Institutul politehnic din Cluj, care a predat această disciplină la anul III al Facultății de construcții.

Lucrarea este elaborată, în modul următor:

N. PATACHI: Introducere; 1. 1; 2.2; 2.3; 2.4; 6.1; 6.2; 6.3; Cap. VIII; Cap. IX; Cap. X; 12.8
V. BABEȘ: 1.2; 2.5; 2.6; Cap. III; 5.1; Cap. VII; 12.1
A. KELEMEN: Cap. IV
I. DANCEA; 5.2; 5.3; 11.1
N. DRAGOMIR: 2.1; 11.2; 12.2; 12,3; 12.4; 12.5; 12.6; 12.7.

Referent științific:

dr. ing. A. MILLEA

Redactor: ANA AMUZESCU
Tehnoredactor: ILINCA PROSAN
Coperta: ALEX. ANDREI

Scanned with OKEN Scanner

MERLĂ

MIHAI

I.

ELECTROTEHNICA ȘI INSTALAȚII ELECTRICE

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL I

ÎNTRODUCERE

1.1 OBIECTUL ŞI CONŢINUTUL CURSULUI

În domeniul construcţiilor, energia electrică şi maşinile de construcţii se utilizează tot mai mult, prin introducerea metodelor de muncă moderne, la o serie de lucrări.

Obiectul cursului de electrotehnică instalaţii electrice şi maşini de construcţii, constă în recapitularea şi extinderea cunoştinţelor de bazele electrotehnicii predate la fizică, studiul principiilor constructive ale maşinilor şi aparatelor electrice, ale instalaţiilor electrice, al utilizării energiei electrice, al organelor de maşini şi al maşinilor de construcţii, precum şi al însuşirii normelor de tehnica securităţii, toate acestea avînd ca scop asigurarea organizării judicioase a şantierelor şi a exploatării optime a utilajelor folosite pe şantierele de construcţii, în condiţiile de securitate a muncii, prescrise.

Cursul de faţă constituie o bază teoretică şi practică pentru studenţii facultăţilor de construcţii, în scopul unei documentări imediate, pentru o aplicare judicioasă a cunoştinţelor de electrotehnică, mecanică, termotehnică şi hidraulică în construcţii.

1.2. MĂRIMI FIZICE. UNITĂŢI DE MĂSURĂ. SEMNE CONVENŢIONALE

1.2.1 Mărimi fizice şi unităţi de măsură. Studiul sistematic al obiectelor şi fenomenelor din lumea înconjurătoare a arătat că unele caracteristici comune ale acestora se pot exprima cantitativ, servind la caracterizarea deplină a lor.

Aceste caracteristici fizice, care pot varia ca intensitate sau mărime, se numesc *mărimi fizice*, avînd proprietatea de a fi măsurabile.

Metoda generală de măsurare, aplicabilă la orice mărime „A" aditivă sau nu, constă în evaluarea intensităţii „i" a unui fenomen uşor de determinat, invariabil legat de valoarea mărimii „A" printr-o relaţie:

$$A = f(i) \text{ sau } i = \varphi(A) \qquad (1.2.1)$$

Pentru ca măsurarea să fie *sigură*, legătura (1.2.1) trebuie să fie univocă; pentru a fi *precisă* este necesar ca fenomenul „*i*" să fie „sensibil", adică la o mică variaţie a lui A să corespundă o variaţie cît se poate de mare pentru „*i*"; în sfîrşit, pentru ca măsurarea să fie *fidelă* este necesar ca în orice condiţii „*i*" să aibă aceeaşi valoare, cînd A are aceeaşi valoare (să fie reproductibilă).

Majoritatea formulelor fizice, reprezentînd relaţii de definiţie, legături obiective dintre obiectele şi fenomenele în mişcare, pot fi reduse la ecuaţii matematice între anumite variabile numerice $x, y, \ldots$, de forma

$$f(x, y, \ldots) = 0 \tag{1.2.2}$$

unde x, y, ... sînt valorile mărimilor care intervin în relaţiile respective. Numărul relaţiilor fizice însă este mult mai mic decît numărul mărimilor fizice, existînd unele mărimi care nu pot fi definite în funcţie de alte mărimi. Este deci necesar să se stabilească un număr de mărimi fizice — *mărimi fundamentale* — în raport cu care să se definească celelalte mărimi. De exemplu; dinamica are nevoie de trei mărimi fundamentale: lungime, masă şi timp; electricitatea şi magnetismul, căldura, fotometria — de cîte patru mărimi fundamentale: lungime, masă şi timp, intensitatea curentului electric, respectiv temperatura termodinamică şi intensitatea luminoasă (v. tabela 1.2.1).

Mărimile fundamentale se definesc direct. Unităţile de măsură cu care se face măsurarea mărimilor fundamentale se numesc unităţi *fundamentale*, care se aleg independent una de alta, în mod absolut convenţional.

Mărimile fizice care se definesc în funcţie de mărimile fizice fundamentale se numesc *mărimi derivate*. Unităţile lor de măsură se numesc *unităţi derivate* şi sînt dependente de unităţile fundamentale. Unităţile derivate, deci nu sînt independente între ele şi nu se pot defini arbitrar în funcţie de mărimile fundamentale.

Conform celor menţionate anterior, o mărime electrică A (fundamentală sau derivată), se poate exprima sub forma unui produs simbolic între valoarea „α" şi unitatea de măsură „a":

$$A = a \cdot \alpha \tag{1.2.3}$$

sau, în cazul alegerii altei unităţi de măsură „a_i"

$$A = a_i \cdot \alpha_i \tag{1.2.4}$$

„α_i" fiind valoarea mărimii faţă de unitatea a_i.

Unităţile a şi a_i fiind funcţie de unităţile mărimilor fundamentale prin care se defineşte mărimea A (L, M, T, I), raportul valorilor α şi α_i este de forma

$$\frac{\alpha}{\alpha_i} = L^m T^p M^q I^r \tag{1.2.5}$$

unde L, M, T, I sînt dimensiunile mărimilor fundamentale, iar m, p, q, r sînt numere întregi sau fracţionare, pozitive sau negative.

Scanned with OKEN Scanner

Prod usul $L^m T^p M^q I^r$ reprezintă *dimensiunea mărimii* derivate, iar relaţia (1.2.5.) se numeşte ecuaţia dimensiunilor şi se notează simbolic

$$[A]_{LMTI} = L^m T^p M^q I^r \tag{1.2.6}$$

Ecuaţiile dimensionale ale mărimilor derivate servesc la verificarea omogenităţii relaţiilor fizice. Cu ajutorul lor se stabilesc *ecuaţiile unităţilor mărimilor derivate*, înlocuind mărimile fundamentale din ecuaţia dimensiunilor cu unităţile fundamentale respective şi ridicîndu-le la puterea indicată de exponenţi. Unitatea de măsură a mărimii derivate A, a cărei dimensiune este $[A]$ se notează simbolic $<A>$ adică

$$A = \alpha <A> \tag{1.2.7}$$

Unităţile de măsură ale mărimilor derivate pot fi *coerente* — cînd se obţin prin înmulţirea unităţilor mărimilor fundamentale luate la puterea la care apar în formula de definiţie a mărimii derivate, de exemplu, Coulombul

$$1C \text{ (coulomb)} = (1A).(1s) \tag{1.2.8}$$

sau *necoerente*, legate de unităţile coerente ale respectivelor mărimi derivate prin relaţii cu coeficienţi numerici, de exemplu

$$1 \text{ cal (calorie)} = 4{,}1855 \text{ J (joule)} \tag{1.2.9}$$

1.2.2. **Evoluţia sistemelor de unităţi de măsură.** Sistemul internaţional. Ansamblul de unităţi fundamentale, necesare pentru determinarea valorică a mărimilor care intervin în formulele fizice, poartă denumirea de *sisteme de unităţi*.

Sistemele de unităţi, ca şi mărimile fundamentale prin care se caracterizează, se aleg, în principiu, arbitrar. Condiţia esenţială impusă unei unităţi pentru a fi fundamentală este aceea de a fi susceptibilă să furnizeze un etalon de cea mai mare precizie (vezi definiţia amperului la pag. 13). Numărul sistemelor de unităţi trebuie să fie totuşi limitat, pentru că existenţa unui număr prea mare de sisteme de unităţi ar provoca greutăţi serioase în activitatea omenească.

Primul sistem de unităţi care a apărut a fost sistemul metric, avînd ca unităţi fundamentale metrul pentru lungime şi gramul pentru greutate, realizîndu-se şi concret aceste unităţi. Sistemul metric a devenit un sistem de unităţi cu utilizare internaţională şi legală în toate domeniile de activitate în 1875, prin „Convenţia metrului". Ţara noastră a aderat la această Convenţie în 1883.

Dezvoltarea rapidă a ştiinţei şi tehnicii în secolul XIX şi XX a pus problema determinării a noi şi noi mărimi care interveneau în formulele fizice.

Scanned with OKEN Scanner

Plecînd de la sistemul metric s-au format în această perioadă noi sisteme de unităţi: *MKfS*, *CGS*, $CGS\varepsilon_0$, $CGS\mu_0$, *MTS*, $CGS\varepsilon\mu$, *MKS* etc.

Cerinţele impuse unui sistem de unităţi sînt: să fie *practic*, adică să aibă unităţile fundamentale alese astfel încît la măsurarea mărimilor uzuale, valorile acestora să nu fie nici foarte mari, nici foarte mici; *coerent*, adică unităţile sale derivate să se formeze după principiul coerenţei dimensionale şi *general*, adică aplicabil în toate capitolele fizicii: mecanică, electricitate şi magnetism, căldură, optică şi fizică atomică, etc.

Pentru studiul electricităţii şi magnetismului, sistemul MKS, completat cu o a patra mărime electrică sau magnetică, conduce la un sistem practic cu patru unităţi fundamentale capabil să satisfacă cerinţele de mai sus. În acest fel s-a ajuns la *sistemul practic general MKSA*, cu cele două variante „clasică" şi „raţionalizată". Comisia Electrotehnică Internaţională, din motive teoretice şi practice, legate de interpretarea fizică a fenomenelor, s-a pronunţat în favoarea sistemelor raţionalizate. Prin raţionalizare, se elimină factorul 4π dintr-o serie de relaţii, rămînînd numai în formulele cu

Tabela 1.2.1

Unităţile fundamentale şi suplimentare ale S. I.

Nr. crt.	Denumirea mărimii	Simbolul mărimii	Ecuaţia de definiţie a mărimii	Dimensiunea mărimii	Denumirea unităţii de măsură	Simbolul unităţii de măsură	Denumirea unităţii de măsură
			Unităţi fundamentale				
1	lungime	l		L	metru	m	(1m)
2	masă	m		M	kilogram	kg	(1kg)
3	timp	t		T	secundă	s	(1s)
4	intensitatea de curent electric	i		I	amper	A	(1A)
5	temperatura termodinamică	T		θ	grad Kelvin	°K	(1°K)
6	intensitatea luminoasă	I		J	candelă	cd	(1cd)
			Unităţi suplimentare				
7	unghi plan	α	$\alpha = \frac{\text{arc}}{\text{rază}}$		radian	rad	(1rad)
8	unghi solid	Ω, ω	$\Omega = \frac{\text{aria supraf.}}{\text{raza la patrat}}$		steradian	sr	(1sr)

Unităţile principalelor mărimi electrice şi magnetice derivate

Tabela 1.2.2

Nr. crt.	Denumirea mărimii	Simbolul mărimii	Ecuaţia de definiţie a mărimii	Dimensiunea mărimii	Denumirea unităţii de măsură	Simbolul unităţii de măsură	Dimensiunea unităţii de măsură	Observaţii
1	Sarcina electrică	Q	$Q = I \cdot t$	TI	coulomb	C	(1A) · (1s)	
2	Tensiune electrică; diferenţă de potenţial	U	$U = P/I$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	volt	V	(1W) : (1A)	
3	Forţă, tensiune electromotoare	E	$\vec{E} = \int \vec{\mathcal{E}}\, d\vec{l}$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	volt	V	(1 W) : (1 A)	
4	Intensitate de cîmp electric	E, $\mathcal{E}$	$\vec{\mathcal{E}} = -\text{grad}\, U = F/Q$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	volt pe metru	V/m	(1 V) :(1 m)	
5	Rezistenţă electrică	R	$R = U/I$	$L^2T^{-3}MI^{-2}$	ohm	Ω	(1 V) : (1 A)	
6	Capacitate electrică	C	$C = Q/U$	$L^{-2}T^4M^{-1}I^2$	farad	F	(1 C) : (1 V)	
7	Forţă, tensiune magnetomotoare	$\mathcal{F}$	$\mathcal{F} = n \cdot I$	I	amper; amper-spiră	A; Asp	(1 A)	
8	Intensitatea cimpului magnetic	H	$H = I/2l$	$L^{-1}I$	amper pe metru; amper-spiră pe metru	A/m; Asp/m	(1 A) : (1 m)	
9	Flux de inducţie magnetică	Φ	$E = -d\Phi/dt$	$L^2T^{-2}MI^{-1}$	weber	Wb	(1 V) : (1 s)	
10	Inductanţă	L	$L = \Phi/I$	$L^2T^{-2}MI^{-2}$	henry	H	(1 Wb) : (1 A)	
11	Inducţie magnetică	B	$B = \Phi/A$	$T^{-2}MI^{-1}$	tesla	T; Wb/m²	(1 Wb) : (1 m)²	
12	Putere activă	P	$P = U_{ef}I_{ef}\cos\varphi$	$L^2T^{-3}M$	wat	W	(1 V) : (1 A)	
13	Putere aparentă	P_a, S	$P_a = U_{ef}I_{ef}$	$L^2T^{-3}M$	voltamper	VA	(1 V) · (1 A)	
14	Putere reactivă	P_r, Q	$P_r = U_{ef}I_{ef}\sin\varphi$	$L^2T^{-3}M$	var	VAr	(1 V) · (1 A)	
15	Rezistivitate	ρ	$\rho = R \cdot A/l$	$L^3T^{-3}MI^{-2}$	ohm-metru	Ω · m	(1 Ω) · (1m)	
16	Conductanţă	G	$G = 1/R$	$L^{-2}T^3M^{-1}I^2$	siemens; amper pe volt	S	(1 A) : (1 V)	
17	Conductivitate	γ	$\gamma = 1/\rho$	$L^{-3}T^3M^{-1}I^2$	siemens pe metru	S/m	(1 S) : (1 m)	
18	Flux electric	Ψ	$\Psi = I \cdot t$	TI	coulomb	C	(1 A) : (1 s)	
19	Inducţie electrică	D	$D = \Psi/A$	$L^{-2}TI$	coulomb pe metru patrat	C/m²	(1 C) : (1 m)²	
20	Permitivitate	ε	$D = \varepsilon \cdot \mathcal{E}$	$L^3T^4M^{-1}I^2$	farad pe metru	F/m	(1 F) : (1 m)	$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}\ \frac{F}{m}$
21	Permeabilitate	μ	$B = \mu H$	$LT^{-2}MI^{-2}$	henry pe metru	H/m	(1 H) : (1 m)	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{H}{m}$

Scanned with OKEN Scanner

simetrie sferică, de exemplu formula lui Coulomb $f = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon r^2}$; de asemenea permite scrierea unor legi fundamentale ale electrotehnicii sub formă simetrică.

La nivelul actual de dezvoltare a ştiinţei, pentru definirea tuturor mărimilor care intervin în formulele fizice sînt necesare 6 mărimi fundamentale: lungimea, masa, timpul, intensitatea curentului electric, temperatura termodinamică şi intensitatea luminoasă, precum şi două mărimi suplimentare: unghiul plan şi unghiul solid.

Cea de-a XI-a Conferinţă Generală de Măsuri şi Greutăţi (1960) a hotărît ca sistemul de unităţi de măsură bazat pe cele şase unităţi fundamentale (v. tab. 1.2.1) adoptate la a X-a Conferinţă Generală de Măsuri şi Greutăţi, să fie denumit „*Sistem Internaţional de unităţi*",[1] avînd prescurtare internaţională S.I. Acesta este un sistem practic, coerent şi general.

Tot cu această ocazie s-au stabilit principalele mărimi derivate care intervin în formulele fizice şi unităţile de măsură, respectiv simbolurile acestor mărimi (v. tab. 1.2.2. şi 1.2.3.)[2].

Tabela 1.2.3.

Unităţile mărimilor fotometrice derivate, utilizate în electrotehnică

Nr. crt.	Denumirea mărimii	Simbolul mărimii	Ecuaţia de definiţie a mărimii	Dimensiunea mărimii	Denumirea unităţii de măsură	Simbolul unităţii de măsură	Dimensiunea unităţii de măsură	Unităţi utilizate în trecut
1	Flux luminos	Φ	$\Phi = I \cdot d\Omega$	J	lumen	lm	(1cd) · (1sr)	
2	Luminanţă (strălucire)	l	$l = \frac{dI}{dA}$	$L^{-2}J$	candelă pe metru patrat	$\frac{c}{m^2}$	(1cd) : $(1m)^2$	Lamber (la) = $\frac{1}{\pi} \cdot 10^4 cd/m^2$
3	Iluminare	E	$E = \int \frac{d\Phi}{dA}$	$L^{-2}J$	lux	lx	(1lm) : $(1m)^2$	Phot (ph) = 10^4 lx
4	Cantitate de lumină	Q	$Q = \int_0^t \Phi \cdot dt$	TJ	lumen-secundă	lm·s	(1lm) · (1s)	Lumen ora (lh) = = 3.600lm · s
5	Emitanţa	R	$R = \frac{d\Phi}{dA}$	$L^{-2}J$	lumen pe metru patra.	$\frac{lm}{m^2}$	(1lm) : $(1m)^2$	Lumen pe cm^2 = = 10^4 lm/m^2
6	Cantitatea de iluminare	H	$H = \int_0^t E \cdot dt$	$L^{-2}TJ$	lux-secundă	lx · s	(1lx) · (1s)	Phot sec.(ph · s) = = 10^4lx · s

[1] Nu toate unităţile mărimilor derivate tabelate au fost legiferate de a XI-a Conferinţă, acestea urmînd să fie sancţionate la viitoarele conferinţe.

[2] Dimensiunile mărimilor electromagnetice în Sistemul Internaţional sînt aceleaşi cu cele din sistemul practic general MKSA raţionalizat.

Scanned with OKEN Scanner

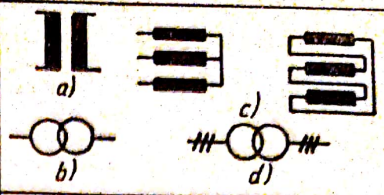
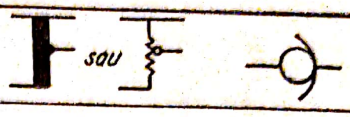
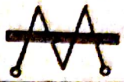
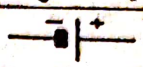
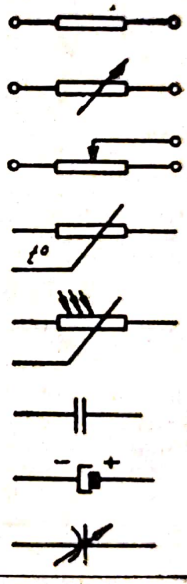
Tabela 1.2.4

Principalele semne grafice convenţionale din schemele electrice

Tabela 1.2.4

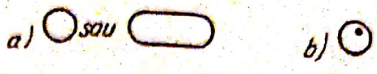
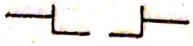
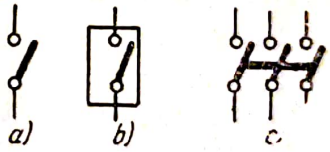
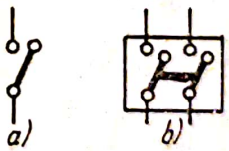
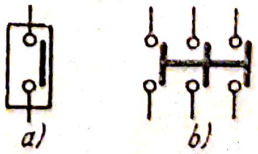
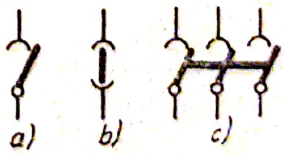
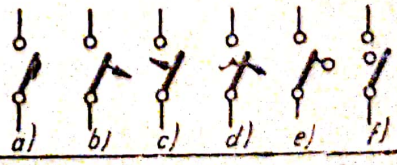
Nr. crt.	Semnificaţia semnului convenţional	Semnul convenţional adoptat
0	1	2
	Semne de uz general	
1	Curent continuu	— sau ═
2	Curent alternativ	∿
3	Curent trifazat	3 ∿
4	Fazele reţelei trifazate	R, S, T, 0
5	Curent trifazat, schema cu 4 conductoare 50 Hz, 380 V	3×380/220 V, ∿ 50 Hz
6	Polaritate pozitivă ; negativă	+ ; —
7	Legare la pămînt	⏚
8	Legătură electrică nedemontabilă	●
9	Legătură demontabilă (bornă)	○
10	Legătură pt circuitul exterior (bornă)	⌀
11	Semn ce caracterizează variabilitatea	↗
12	Conductor sau circuit a) principal ; b) auxiliar	a) — b) —
13	Conductoare ce se intersectează şi nu sînt legate electric	+
14	Conductoare ce se intersectează şi sînt legate electric	+ sau +
15	Conductor (cablu) ecranat	
16	Cablu coaxial	
	Maşini electrice rotative, transformatoare şi surse de curent	
17	Infăşurare trifazată conectată în stea	⅄
18	Infăşurare trifazată conectată în triunghi	△
19	Infăşurarea maşinii rotative	
20	Bobină de reactanţă	
21	Maşină rotativă (semn general) Obs.: în interiorul cercului se indică felul maşinii, curentului, numărul fazelor, etc.	○ Ex.: motorul trifazat (M 3∿)
22	Infăşurările transformatorului	sau
23	Miezul transformatorului : a) semn general b) din tole	a) — b) ═

Tabela 1.2.4 (continuare)

0	1	2
24	Transformator ; a) sau b) - monofazat c) sau d) - trifazat	
25	Autotransformator	
26	Transformator de curent	
27	Element galvanic sau de acumulator	
28	Termocuplu (termoelement)	
	Rezistențe, condensatoare	
29	Rezistență fixă	
30	Rezistență variabilă (reostat)	
31	Rezistență reglabilă (potențiometru)	
32	Termorezistență (termistor)	
33	Fotorezistență cu efect fotoelectric interior	
34	Condensator fix	
35	Condensator electrolitic	
36	Condensator variabil	
	Aparate de măsură	
37	Dispozitiv de măsură (semn general)	
38	Înfășurare de tensiune	
39	Înfășurare de curent	
40	Înfășurări de tensiune și curent pentru înmulțire (wattmetru, contor monofazat, etc.)	
41	Aparat indicator	
42	Aparat înregistrator	
43	Aparat integrator	
44	Aparat telemetric : a) emițător b) receptor	
Observație: pt. indicarea tipului aparatului în simbolul aparatului se scriu următoarele litere:		A-ampermetru; V-voltmetru; W-wattmetru; G-galvanometru; KWh - contor; φ-cosfimetru; Ω-ohmetru; etc.

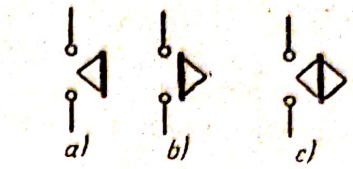
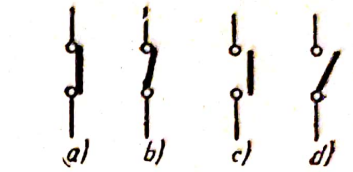
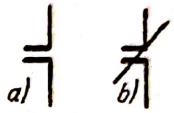
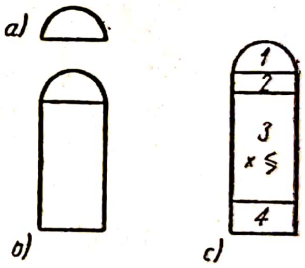
Scanned with OKEN Scanner

Tabela 1 2.4 (continuare)

0	1	2
45	Balonul unui tub: a) cu vid b) cu gaz	
46	Anod	
47	Grilă	
48	Catod	
49	Filament	
50	Electrod fantă	
51	Fotoelement (fotocelulă): a) cu vid b) cu gaz	
52	Lămpi cu incandescență : a) de iluminat ; b) de semnalizare	
53	Element semiconductor	
54	Tranzistor : a) tip p-n-p b) tip n-p-n	
55	Fotodiodă	
	Automatică	
56	Element bloc al sistemului de reglare automată (S.R.A.)	
57	Element de comparație al S.R.A	
	Dispozitive de comutare	
58	Întrerupător manual cu rupere simplă : a) monopolar în aer b) monopolar în ulei c) tripolar în aer	
59	Comutator manual cu rupere simplă: a) monopolar în aer b) bipolar în ulei	
60	Întrerupător manual cu rupere dublă a) monopolar în ulei b) tripolar în aer	
61	Separator : a) cu simplă separare monopolar b) cu dublă separare (amovibil) c) cu simplă separare (tripolar)	
62	Element de conectare automat : a) în general b) la curent maxim (supracurent) c) la curent minim (scădere curent) d) la curent invers e) la supratensiune f) la scădere tensiune	

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 1.2.4 (continuare)

0	1	2
63	Element de conectare temporizat : a) în mișcare de închidere b) în mișcare de deschidere c) în ambele sensuri	
64	Element de conectare : a) cu 2 locuri rupere și contacte NI (normal închise) b) idem cu 1 loc închidere c) d) idem a) respectiv b) cu contacte ND (normal deschise	
65	Elemente de conectare a) contactor b) ruptor	
66	Comutator stea - triunghi	
67	Releu : a) element de lucru b) releu temporizat c) releu cu : 1. element de lucru 2. element directional (raportul laturilor 1/4) 3. element de temporizat (raportul laturilor 1/1) 4. element de pornire (raportul laturilor 1/2) Releul pornește cînd : - mărimea controlată x scade sub valoarea reglată x < - idem, crește peste valoarea reglată x >	
68	Siguranță fuzibilă	

În afara unităților derivate ale S.I. se pot utiliza în mod legal multiplii și submultiplii zecimali ai unităților acestui sistem. Multiplii și submultiplii se formează cu ajutorul unor prefixe.

Sistemul internațional a fost legiferat în țara noastră prin H.C.M. nr. 550/1961. Definițiile fundamentale ale acestui sistem sînt înscrise în STAS 737—62 întocmit în conformitate cu H. C. M. nr. 550/1961.

Astfel, conform STAS 737—62, amperul este intensitatea unui curent electric constant, care menținut în două conductoare paralele, rectilinii, de lungime infinită și secțiune neglijabilă, așezate în vid la o distanță de

1 metru unul de altul ar produce între aceste două conductoare o forţă egală cu $2 \times 10^{-7} \left[\frac{N}{m}\right]$.

1.2.3. Semnele grafice convenţionale în schemele electrice. În tabela 1.2.4 se prezintă, pe scurt, principalele semne ce apar în schemele electrice, semne stabilite fie prin standardele noastre, fie împrumutate din literatura străină, în caz că nu sînt standardizate la noi.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL II

RECAPITULAREA PRINCIPALELOR NOȚIUNI DE BAZELE ELECTROTEHNICII[1]

2.1 ELECTROSTATICA

2.1.1. Generalități. Electronul și protonul (figura 2.1.1) sînt particule elementare ale materiei și au o proprietate distinctivă, din punct de vedere al noțiunii de electricitate, care este sarcina electrică.

Sarcina electrică este mărimea fizică care caracterizează stările de electrizare ale corpurilor. Este o mărime primitivă[2] și reflectă o proprietate a corpurilor, ireductibilă la altele. Particulele elementare au sarcini electrice diferite; protonul pozitivă și electronul negativă, efectele lor fiind contrare în spațiul înconjurător. Numărul electronilor dintr-un atom fiind egal cu al protonilor, efectele lor se neutralizează, iar atomul apare neutru din punct de vedere electric. Prin pierderea sau captarea unui electron,

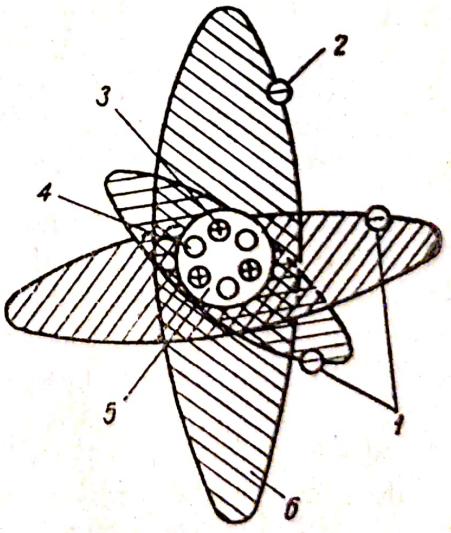


Fig. 2.1.1. Reprezentarea unui atom:
1 — electroni planetari; *2* — electron transmisibil; *3* — protoni; *4* — neutron; *5* — nucleu; *6* — orbita unui electron.

[1] În acest capitol se face o recapitulare și o completare a principalelor legi și fenomene din electrotehnică, în continuarea cursului de Fizică generală din anul II.

[2] Mărimile primitive sînt mărimi care se determină experimental și nu pot fi definite prin alte mărimi.

Scanned with OKEN Scanner

atomul devine ion pozitiv sau negativ, cu proprietăţi electrice, iar spaţiul din jurul lui capătă anumite proprietăţi specifice cîmpului electromagnetic.

Cîmpul electromagnetic cu cele două aspecte ale sale, cîmpul electric şi cîmpul magnetic este o formă specifică de materie, deosebită de corpuri, care poate exista şi în vid şi care poate exercita acţiuni ponderomotoare (forţe şi momente) asupra corpurilor. Ca orice formă de materie, el poate avea energie şi impuls şi le poate transmite corpurilor.

Conform concepţiei filozofice materialiste, noţiunea de spaţiu este legată indisolubil de materie. Există însă regiuni din spaţiu unde pot să lipsească corpurile, ca una din formele materiei. O astfel de regiune se numeşte „vid". În această interpretare, vidul lipsit de substanţă nu este totuşi lipsit de materie, putînd fi sediul altor forme ale materiei, ca de exemplu, cîmpul electromagnetic.

Din punctul de vedere al proprietăţilor electrice, substanţele sînt conductoare, semiconductoare şi izolante (dielectrice), după numărul electronilor transmisibili. Conductoarele şi dielectricii au, într-o anumită măsură, proprietăţi opuse proprietăţilor lor distinctive.

Fenomenele electrice se petrec în conformitate cu principiul conservării energiei, care stabileşte că în orice proces fizic există un element, energia, care nu poate fi creat sau distrus, dar poate trece prin diverse transformări. Energia există sub două forme: cinetică (o au corpurile în mişcare şi se poate folosi în locul şi în momentul în care se produce) şi potenţială (o au unele corpuri în repaus, poate fi transformată în energie cinetică şi apoi folosită sub formă de lucru mecanic).

Prin generarea de electricitate se înţelege obţinerea de particule elementare cu sarcină electrică, libere, prin distrugerea echilibrului electric al substanţei. Acest lucru se poate face prin consumarea unei energii de natură neelectrică şi transformarea ei în energie electrică, prin intermediul generatoarelor electrice. Transformarea este reversibilă, adică energia electrică se transformă în energie de altă natură, prin intermediul consumatorilor (receptoarelor) de energie electrică.

2.1.2. **Cîmpul electric. Teorema lui Coulomb.** În electrostatică se studiază sarcinile electrice libere în stare de repaus (imobile), care pe dielectrici rămîn în locul în care s-au produs, iar pe conductoare se repartizează pe întreaga suprafaţă a corpului.

Se constată experimental că spaţiul din jurul unui corp imobil, încărcat cu sarcini electrice, capătă proprietăţi fizice specifice şi se numeşte cîmp electrostatic, fiind caracterizat, calitativ şi cantitativ, prin forţa electrostatică.

Unitatea de măsură a sarcinii electrice este coulombul (C), dat de produsul dintre unitatea de măsură a curentului electric (amperul; A) şi unitatea de timp (secunda; s):

$$1\,C = 1\,A \times 1s \qquad (2.1.1)$$

Pentru explorarea macroscopică a cîmpului electrostatic se foloseşte o „sarcină de probă, q" (numită şi corp de probă), care este o sarcină electrică

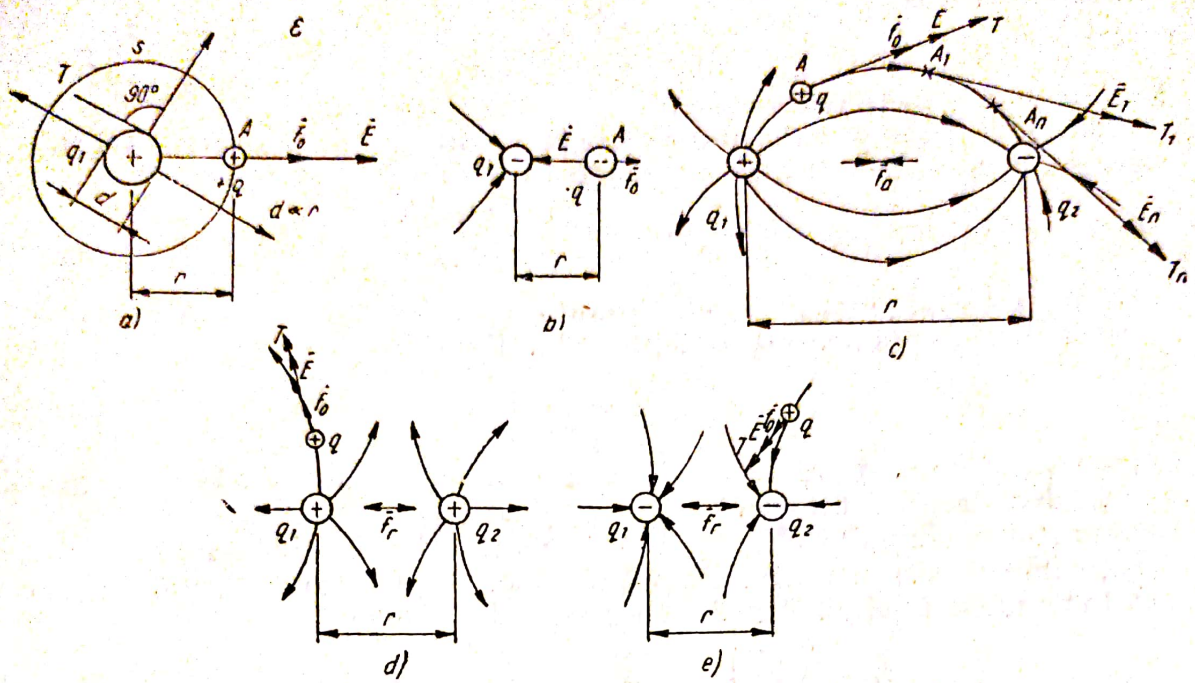


Fig. 2.1.2. Spectrul cîmpului electric în cîteva cazuri simple:
a — produs de o sarcină electrică pozitivă punctiformă; *b* — produs de o sarcină electrică negativă punctiformă; *c* — produs de două sarcini punctiforme de sens contrar; *d*, *e* — produs de două sarcini punctiforme de același sens.

suficient de mică pentru a nu perturba sensibil cîmpul electrostatic explorat[1].

Forța electrostatică f, este forța pe care cîmpul electric o exercită asupra unei sarcini electrice q, introdusă în cîmp; se determină experimental, iar unitatea ei de măsură este newtonul (N).

Interacțiunea mecanică dintre două corpuri punctiforme încărcate cu sarcinile electrice q_1, q_2, situate la distanța r între ele (fig. 2.1.2 *c*,*d*,*e*) se manifestă prin forța de atracție f_a, dintre sarcinile de sens contrar, sau de respingere f_r, dintre sarcinile de același sens. Conform teoremei lui Coulomb, valoarea ei este direct proporțională cu produsul sarcinilor q_1, q_2 și invers proporțională cu pătratul distanței r dintre ele și cu constanta dielectrică ε, care depinde de mediul în care are loc interacțiunea, conform relației

$$f_0 = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2} \left[\frac{C.\,C.}{\frac{E}{m} \cdot m^2} \right] = \frac{C.\,C.}{\frac{C}{V} \cdot m} = \frac{C.V.}{m} = \frac{VAS}{m} = \frac{F}{m} = [N] \qquad (2.1.2)$$

[1] Starea de electrizare a corpului de probă trebuie să fie invariabilă, astfel încît în condiții exterioare egale, să se exercite asupra lui forțe de natură electrică egale. Experimental se constată că, pentru a se menține neschimbată starea de electrizare a corpului de probă, trebuie ca starea fizico-chimică să nu se modifice, să fie metalic (conductor) sau metalizat și să fie perfect izolat electric. Corpul de probă se ia foarte mic, practic punctual, pentru a permite explorarea unor regiuni, în principiu, oricît de mici din cîmp.

în aer sau vid şi

$$f = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi \varepsilon r^2} [\mathrm{N}] \tag{2.1.3}$$

într-un mediu dielectric oarecare.

Mărimea ε_0 este permitivitatea absolută (constanta dielectrică absolută a spaţiului vid). Valoarea ei, exprimată în farazi pe metru, este

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \left[\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}}\right] = \left[\frac{\mathrm{c} \cdot \mathrm{c}}{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^2}\right]. \tag{2.1.4}$$

Mărimea ε este permitivitatea absolută a unui mediu dielectric, a cărui caracteristică fundamentală o reprezintă. Raportul

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \tag{2.1.5}$$

se numeşte permitivitate relativă, şi este un număr adimensional (valorile lui ε_r, sînt date în tabele).

Intensitatea cîmpului electric $\bar{E}$, este mărimea primitivă care caracterizează, calitativ şi cantitativ, cîmpul electric. Exprimată în funcţie de sarcina q introdusă în cîmp (fig. 2.1.2 a), expresia ei este

$$\bar{E} = \frac{\bar{f}}{q} \left[\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\right] = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C} \cdot \mathrm{m}} = \frac{\mathrm{VAS}}{\mathrm{As\ m}} = \left[\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\right]. \tag{2.1.6}$$

Este o mărime vectorială cu acelaşi sens ca şi vectorul forţei $\bar{f}$ şi se măsoară în volt pe metru (V/m).

Liniile perpendiculare pe suprafaţa corpului încărcat cu sarcina electrică q, dirijate radial în spaţiu, care reprezintă direcţiile de acţiune ale cîmpului electric, se numesc linii ale cîmpului electric sau linii de forţă, iar ansamblul lor formează spectrul cîmpului electric. Ele pornesc de pe corpul cu sarcina pozitivă şi ajung la cele cu sarcina negativă (fig. 2. 1. 2).

Vectorii $\bar{f}$ şi $\bar{E}$ sînt tangenţi în fiecare punct al cîmpului la liniile de forţă.

Din relaţiile (2.1.2) şi (2.1.3), rezultă intensitatea cîmpului electric în funcţie de sarcina q_1, care produce cîmpul

$$|\bar{E}| = \frac{|\bar{f}|}{q_2} = \frac{q_1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot r^2} \left[\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\right]. \tag{2.1.7}$$

2.1.3. **Potenţialul electric. Tensiunea electrică.** Potenţialul electric într-un punct al cîmpului electric, a sau b (fig. 2.1.3) se defineşte ca fiind lucrul mecanic efectuate de forţele cîmpului electric la deplasarea sarcinii electrice pozitive unitare, în sensul cîmpului, din punctul considerat la infinit (într-un punct cu potenţial zero, de exemplu suprafaţa pămîntului).

Lucrul mecanic efectuat la deplasarea sarcinii pozitive q sub influenţa forţei cîmpului electrostatic $\bar{f}$, din punctul a la ∞ (fig. 2.1.3) se exprimă prin relaţia ;

$$A = \int_0^\infty \bar{f} \cdot \mathrm{d}\bar{l} = \int_0^\infty q \cdot E \cdot \mathrm{d}l \cdot \cos\alpha = q \int_a^\infty \bar{E} \cdot \mathrm{d}\bar{l}$$

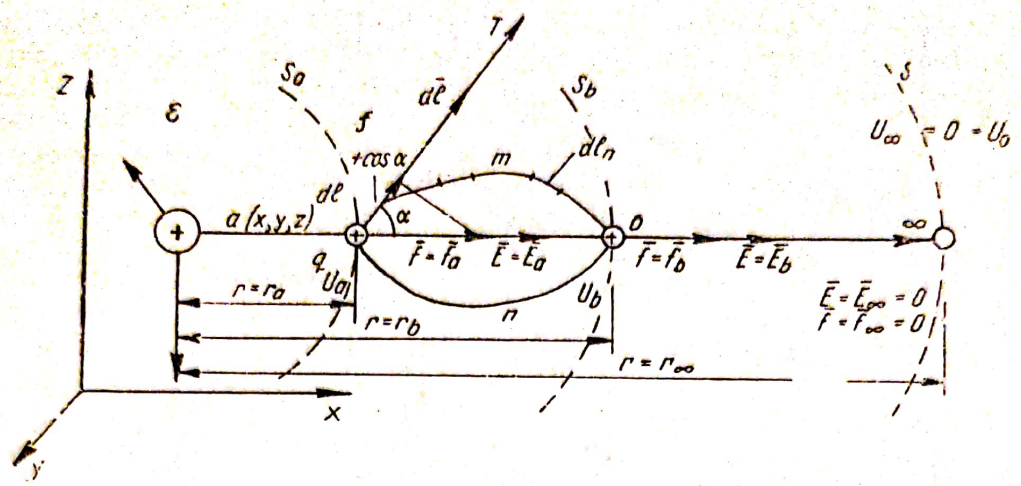


Fig. 2.1.3. Cîmpul electric produs de o sarcină punctiformă (q_1); q — sarcina de probă, care se deplasează sub influența forței cîmpului electrostatic.

de unde rezultă potențialul, care depinde numai de coordonatele x, y, z ale punctului considerat în cîmp:

$$U_a(x, y, z) = U_a = \frac{A}{q} = \int_a^\infty \bar{E} \cdot d\bar{l} \left[\frac{J}{C}\right] = \frac{VAs}{As} = [V]. \qquad (2.1.8)$$

Unitatea de măsură a potențialului este voltul [V].

Înlocuind de dl cu dr, pentru $\alpha = 0$, se află expresia potențialului la distanța r_a, produs de sarcina q:

$$U_a = \int_a^\infty E \cdot dl = \int_{r_a}^\infty \frac{q_1}{4\pi\varepsilon \cdot r^2} dr = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon} \int_{r_a}^\infty r^{-2} \cdot dr = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon} \left| \frac{1}{r_a} \right|_a^\infty = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_r}. \qquad (2.1.9)$$

Într-un cîmp electric, totalitatea punctelor care au același potențial formează o suprafață echipotențială, perpendiculară pe liniile cîmpului electric și pe care sarcina electrică se deplasează fără consum de lucru mecanic [s_a, s_b, fig. 2.1.3). Urmele suprafețelor echipotențiale în planul desenului, se numesc linii echipotențiale.

Tensiunea electrică se definește prin lucrul mecanic efectuat la transportul sarcinii electrice unitare pozitive, în sensul cîmpului, din punctul a în punctul b (fig. 2.1.3), fiind egală cu diferența dintre potențialele U_a și U_b a celor două puncte:

$$U_{ab} = U_a - U_b = \frac{A}{q} = \int_a^b \bar{E}\, d\bar{l} = \int_{r_a}^{r_b} \frac{q_1}{4\pi\varepsilon r^2} dr = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon} \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \qquad (2.1.10)$$

Lucrul mecanic efectuat de forțele cîmpului la transportul sarcinii q din a în b, depinde numai de potențialele acestor puncte, care se află pe supra-

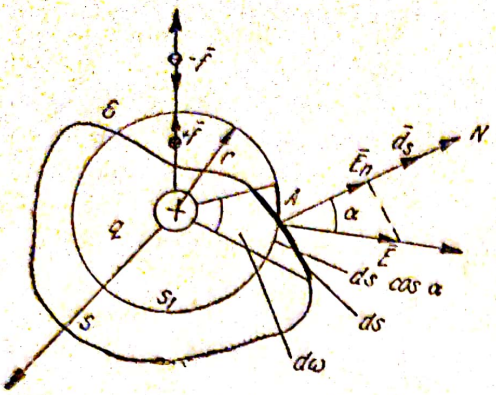


Fig. 2.1.4. Fluxul electric al unei sarcini electrice pozitive printr-o suprafaţă închisă, în interiorul căreia se află sarcina.

feţele echipotenţiale s_a şi s_b, deci lucrul efectuat la deplasarea sarcinii electrice între două suprafeţe echipotenţiale, nu depinde de drumul urmat (fig. 2.1.3, curbele *a m u* sau *a n b*). Potenţialul cîmpului electric şi tensiunea electrică sînt mărimi scalare.

2.1.4. **Teorema lui Gauss.** Teorema lui Gauss stabileşte legătura dintre sarcina electrică din interiorul unei suprafeţe închise *s*, situată într-un dielectric omogen, cu constanta ε şi fluxul vectorului intensităţii cîmpului electric Ψ_E, prin această suprafaţă (fg. 2.1.4).

Pentru a determina valoarea fluxului cîmpului electric creat de sarcina *q*, prin suprafaţa *s*, din întregul spaţiu se separă un tub de intensitatea cîmpului, conic, corespunzător unui unghi solid dω, infinit mic. Fluxul vectorului $\bar{E}$ prin elementul de suprafaţă d*s*, este

$$\mathrm{d}\,\Psi_E = E \cdot \mathrm{d}s \cdot \cos\alpha = \bar{E}\,\overline{\mathrm{d}s}$$

Suprafaţa d*s*. cos α reprezintă proiecţia elementului d*s* pe suprafaţa sferei cu raza *r* şi concide cu elementul de suprafaţă al sferei $r^2 \cdot \mathrm{d}\omega$, care rezultă din intersecţia conului cu suprafaţa sferei s_1. Ţinînd seama de aceasta, precum şi de relaţia (2.1.7), avem

$$\mathrm{d}\Psi_E = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon r^2} \cdot r^2\,\mathrm{d}\omega.$$

Prin integrare, se ajunge la relaţia

$$\Psi_E = \oint_s \bar{E} \cdot \overline{\mathrm{d}s} = \oint_s \overline{E}\,\overline{\mathrm{d}s} = \oint_s \frac{q_1}{4\pi\varepsilon}\,\mathrm{d}\omega = \frac{q}{\varepsilon} \qquad (2.1.11)$$

care exprimă teorema lui Gauss, conform căreia, fluxul vectorului intensităţii cîmpului electric printr-o suprafaţă închisă, aflată într-un mediu izolant, omogen şi izotrop, este egal cu raportul dintre cantitatea de electricitate cuprinsă în interiorul suprafeţei şi permitivitatea absolută a mediului.

Din această teoremă rezultă că pentru a avea o stare statică a sarcinilor electrice, pentru orice suprafaţă închisă din interiorul unui conductor, fluxul vectorului intensităţii cîmpului electric trebuie să fie zero, deoarece în caz contrar, sub influenţa forţelor cîmpului, electronii transmisibili din interiorul suprafeţei, se deplasează în sens contrar sensului cîmpului $\left(\Psi_E = \oint_s \bar{E}\,\mathrm{d}\bar{s} = 0\right)$. Urmează că în regim electrostatic, în interiorul unui corp conductor electrizat nu avem sarcini electrice, acestea fiind repartizate

pe suprafața lui. Pe acest fenomen se bazează construcția ecranelor electrostatice, folosite la protejarea unei instalații oarecare, cuprinsă în interiorul lor, de influența cîmpurilor electrice exterioare (instrumente de măsură, instalații de înaltă tensiune).

2.1.5. Polarizarea dielectricilor. Un dielectric neîncărcat, introdus într-un cîmp electric, influențează asupra acestui cîmp, influența fiind atribuită stării de polarizare a dielectricului. Pentru interpretarea acestei stări, se consideră că orice corp este constituit din particule elementare cu sarcini pozitive și negative, în cantități egale pentru un corp electric neutru și că la conductori, o parte din particule sînt libere (electroni la metale, ioni la electroliți), iar la dielectrici, particulele cu ambele feluri de sarcină sînt legate cvasielastic în atomi sau molecule.

Polarizarea temporară. Sub acțiunea unui cîmp electric, particulele elementare din atomii și moleculele unui dielectric se deplasează puțin, cele cu sarcini pozitive în sensul cîmpului electric, și cele cu sarcini negative în sens contrar, astfel încît elementele corpului apar polarizate electric. După modul de producere se deosebesc: polarizarea de deformare și polarizarea de orientare.

Pentru explicarea, simplificată, a fenomenului de polarizare, se consideră un atom de hidrogen (figura 2.1.5), la care, în medie, centrul de greutate al pozițiilor electronului negativ coincide cu nucleul pozitiv, astfel că atomul apare neutru din punct de vedere electric. Dacă asupra atomului acționează un cîmp electric exterior E, se produce o deformare a orbitei electronului, iar centrul de greutate geometric al pozițiilor electronului se deplasează cu distanța d față de centrul de greutate al protonului. Atomul astfel deformat nu mai apare neutru, din punct de vedere electric și, în spațiul exterior, se manifestă ca un dipol.

Dipolul este un sistem de două sarcini electrice egale și contrare $\pm q$, situate la distanța d una de alta, caracterizat prin „momentul electric al dipolului", conform relației

$$\bar{p} = q \cdot \bar{d} \quad [\text{C.m}] \tag{2.1.12}$$

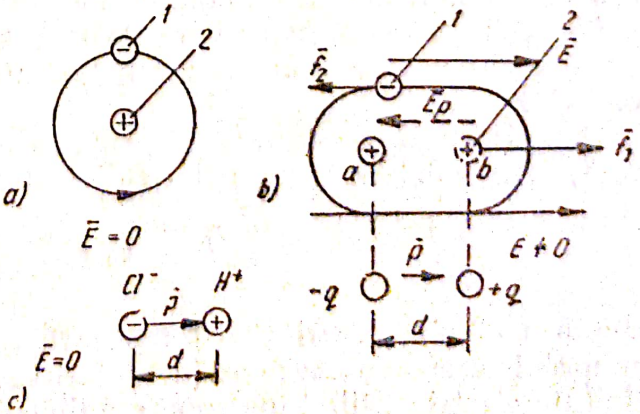


Fig. 2.1.5.

a) — Atom nedeformat de substanță cu dipol cuasielastici ($E = 0$, momeutnl electric este nul); *b)* Atom deformat de substanță cu dipoli cuasielastici : *1* — electron; *2* — nucleu; *c)* — moleculă polară

Deplasarea d este foarte mică, fiind, practic, proporţională cu intensitatea cîmpului exterior $\bar{E}$ care produce polarizarea dielectricului. Se spune că dipolul obţinut este cuasielastic, deoarece, atunci cînd cîmpul electric exterior nu mai influenţează asupra dielectricului, atomii acestuia revin la starea iniţială. În astfel de cazuri, se obţine, aşa dar, o polarizare de deformare, temporară.

Deformaţii analoage capătă şi atomii sau moleculele cu constituţie mai complicată, fiecare atom sau moleculă devenind echivalent cu un dipol. Sensul momentelor electrice ale acestor dipoli, este cel al cîmpului exterior $\bar{E}$.

Polarizarea dielectricilor este caracterizată de mărimea vectorială numită polarizaţia dielectricului $[\bar{P}]$, care este egală cu suma momentelor dipolilor elementari cuprinşi în unitatea de volum.

Polarizarea de deformare (cu dipoli cuasielastici). Se produce la substanţele cu molecule nepolare, simetrice (fără moment electric iniţial, ca de exemplu: hidrogenul, oxigenul, azotul).

Depăşind limita de deformare elastică a atomului, echilibrul substanţei este distrus, iar în dielectric apare un curent electric, format de sarcinile electrice care se deplasează sub influenţa forţei electrostatice a cîmpului exterior. Acest fenomen constituie străpungerea dielectricului, iar valoarea intensităţii cîmpului electric la care are loc străpungerea, se numeşte rigiditate dielectrică (unitatea în S.I. este V/m; practic kV/cm).

Există materiale izolante cu molecule nesimetrice, al căror moment electric este diferit de zero, chiar cînd nu sînt introduse într-un cîmp electric exterior, numite substanţe cu molecule polare, cum este de exemplu HCl — acidul clorhidric (figura 2.1.5). Agitaţia termică determină o aşezare dezordonată a moleculelor, astfel că pe un element macroscopic de volum, momentele electrice ale dipolilor se neutralizează. Introducînd o astfel de substanţă într-un cîmp electric exterior, are loc o rotire, incompletă, a dipolilor, care tind să ocupe o poziţie în care axele lor să fie orientate de-a lungul liniilor cîmpului exterior. Aceasta este o polarizare de orientare (de rotaţie), însoţită, de obicei, la aceste substanţe, şi de o polarizare prin deformare. Şi în acest caz, polarizaţia egală cu suma vectorială a momentelor electrice ale dipolilor cuprinşi în unitatea de volum, este, practic, proporţională cu cîmpul electric exterior.

Corpurile la care predomină polarizarea prin deformare se numesc dielectrice, iar cele la care predomină polarizarea prin orientare, se numesc paraelectrice.

Experimental se constată că pentru ambele categorii de polarizare temporară, este valabilă legea polarizaţiei electrice temporare

$$\bar{P} = \varepsilon_0 \chi_e \bar{E} \quad \left[\frac{C}{m^2}\right] \tag{2.1.13}$$

conform căreia, polarizaţia temporară este proporţională cu intensitatea cîmpului electric exterior $\bar{E}$ (de polarizare). Mărimea χ_e se numeşte susceptivitate electrică, fiind un număr adimensional; ea depinde de natura corpului, şi scade cu creşterea temperaturii, datorită agitaţiei termice.

Scanned with OKEN Scanner

Polarizarea permanentă. Polarizarea permanentă depinde de cauze neelectrice. Spre deosebire de polarizaţia temporară, care depinde de intensitatea locală a cîmpului în care este situat corpul, polarizaţia temporară nu depinde de intensitatea locală a acestui cîmp.

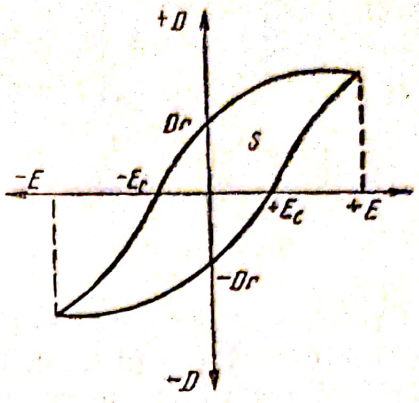


Fig. 2.1.6. Curba histerezis în dielectric.

Polarizaţia permanentă poate să apară sub următoarele forme: polarizaţie piezoelectrică, cînd corpul s-a polarizat prin deformare mecanică; polarizaţie piroelectrică, cînd corpul s-a polarizat prin încălzire; polarizaţie permanentă a electreţilor (analogii magneţilor permanenţi, în cazul stărilor electrice), prezentată de anumite materiale (răşini, plexiglas), după ce au fost supuse unor tratamente termice prealabile, pînă la înmuiere, într-un cîmp electric foarte intens.

Polarizarea feroelectrică este polarizare permanentă, care apare la anumite materiale izolante, care se polarizează neliniar sub acţiunea unui cîmp electric. Polarizaţia $\overline{P}$, în funcţie de cîmpul $\overline{E}$, pentru procese de polarizare ciclică [$\overline{P} = f(E)$], se poate reprezenta grafic ca în figura 2.1.6. şi constituie un fenomen de histerezis electric. Aceste materiale, numite feroelectrice sau seignettoelectrice, au o polarizare atît temporară (dependentă de cîmp, cît şi permanentă (diferită de zero în lipsa cîmpului). Exemple de astfel de materiale sînt sarea Seignette, titanatul de bariu, etc. Se folosesc în tehnica modernă, de exemplu ca traductoare electroacustice (doze piezoelectrice).

Suprafaţa curbei închise (figura 2.1.6), reprezintă, la o anumită scară, pierderi de energie suplimentară în dielectricul considerat, care duc la încălzirea lui. Amintim că, în afara acestor pierderi, în dielectrici apar pierderi şi prin curentul de conducţie (foarte mic), constituit de deplasarea unor sarcini electrice libere, sub influenţa forţei electrostatice a cîmpului în care este introdus dielectricul.

2.1.6. **Inducţia electrică.** Din relaţia (2.1.11) se deduce

$$\psi_D = \oint_S \varepsilon \overline{E} \cdot d\overline{s} = \oint_S \overline{D} \cdot d\overline{s} = \oint_S (\varepsilon_0 \overline{E} + \overline{P})\, d\overline{s} = q \qquad (2.1.14)$$

unde mărimea $\overline{D} = \varepsilon \overline{E} = \varepsilon_0 \overline{E} + \overline{P}$, se numeşte inducţie electrică, avînd ca unitate de măsură coulombul pe metru pătrat [C/m²]. Componenta $\overline{P}$, se datoreşte polarizaţiei dielectricului. Componenta $D_0 = \varepsilon_0 \overline{E}$, se referă la cîmpulelectric în vid, pe care îl caracterizează în punctul în care a fost luată în considerare[1].

[1] Relaţia $\psi_D = \oint \overline{D} \cdot d\overline{s} = q$, reprezintă legea fluxului electric, iar relaţia $\overline{D} = \varepsilon_0 \overline{E} + \overline{P}$, reprezintă legea legăturii dintre D, E şi P, care combinată cu relaţia (2.1.13), conduce la $\overline{D} = \varepsilon \overline{E}$ (variabilă pentru dielectrici liniari, izotropi, lipsiţi de polarizaţie permanentă).

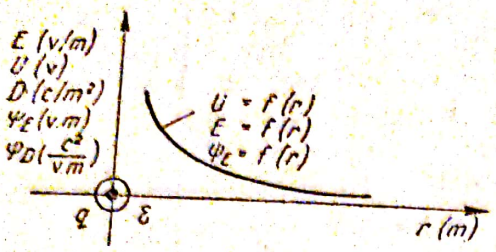


Fig. 2.1.7. Variația mărimilor E, U, D, ψ_E, ψ_D, în funcție de distanța r de la sarcina electrică.

Mărimea ψ_D se numește flux electric (fluxul vectorului inducției electrice). Conform relației (2.1.14), fluxul vectorului inducției electrice printr-o suprafață închisă, în direcția normalei exterioare a suprafeței, este egal cu sarcina electrică liberă cuprinsă în domeniul spațiului limitat de această suprafață.

Valoarea mărimilor E, U, D, ψ_E, ψ_D, scade cu distanța r de la sarcina electrică așa cum se arată, principial, în figura 2.1.7.

2.1.7. Capacitatea electrică. Condensatorul electric. Se consideră un conductor omogen, încărcat cu sarcina electrică adevărată q, situat într-un mediu dielectric liniar (care are o permitivitate independentă de intensitatea cîmpului electric, neîncărcat și fără polarizație permanentă; figura 2.1.8).

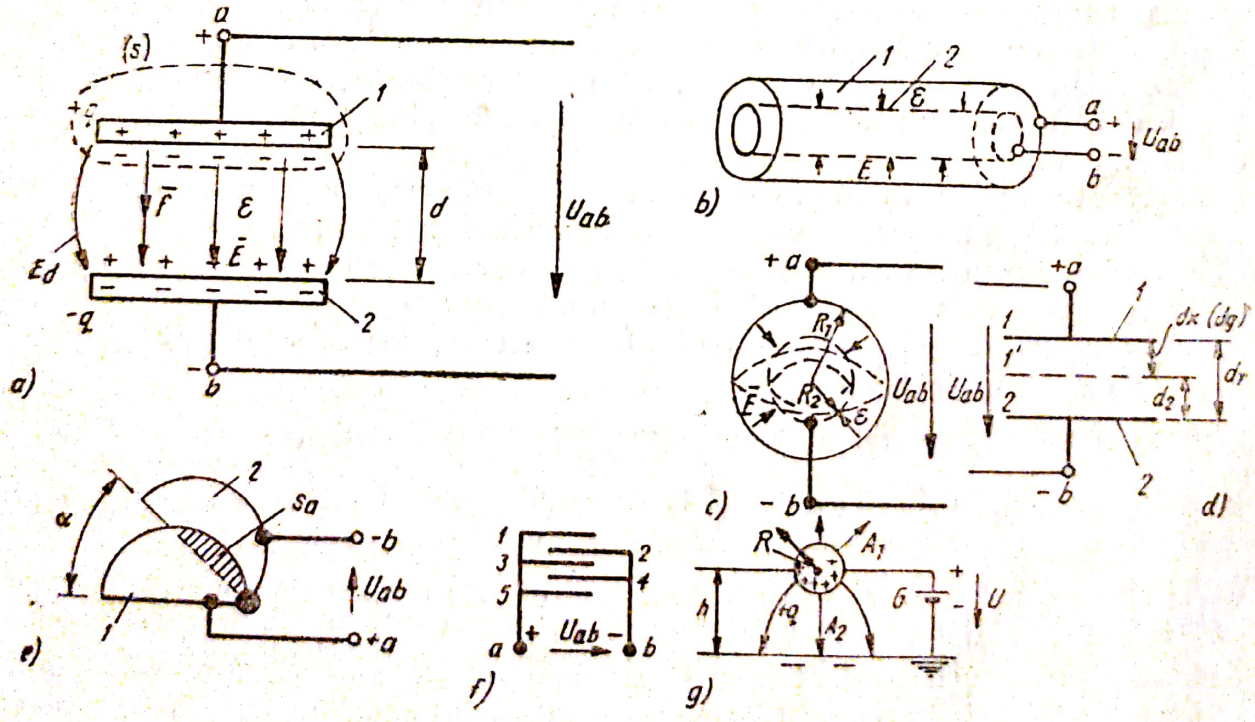


Fig. 2.1.8.

a — Condensator plan; *b* — Condensator cilindric; *c* — Condensator sferic; *d* — Condensator plan cu distanța între plăci, variabilă; *e* — Condensator cu suprafață activă variabilă; *f* — Condensator multicelular; *g* — Capacitatea unui conductor situat în mediu dielectric omogen, față de pămînt; *1*, *2* — armături; *a*, *b* — borne; E — cîmpul electric; E_d — cîmpul electric de dispersie (marginal); d — distanța dintre armături; s_a — suprafața activă; α — unghiul de rotație al armăturii mobile *2*.

Raportul dintre sarcina electrică și potențialul corpului față de pământ (considerat ca având potențial zero), se numește capacitate electrică

$$C = \frac{q}{U} \qquad \left[\mathrm{F} = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V}}\right] \tag{2.1.15}$$

Unitatea de măsură a capacității în *SI* este faradul (F), cu submultiplii microfaradul ($1\mu\ \mathrm{F} = 10^{-6}\ \mathrm{F}$), nanofaradul ($1\mathrm{n\ F} = 10^{-9}\ \mathrm{F}$) și picofaradul ($1\mathrm{pF} = 10^{-12}\mathrm{F}$), iar în sistemul C.G.S.e.s. este centimetrul ($1\mathrm{cm} = 1{,}1\ \mathrm{p\ F}$; $1\mathrm{pF} = 0{,}9\ \mathrm{cm}$).

Capacitatea sferei cu raza R se poate determina din relația precedentă, înlocuind potențialul cu valoarea lui dată de relația 2.1.9 (cu $r = R$):

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\varepsilon R}} = 4\pi\varepsilon R \qquad [\mathrm{F}] \tag{2.1.16}$$

Sistemul format din două conductoare omogene (numite armături), separate printr-un dielectric, încărcate cu sarcini electrice adevărate, egale și de nume contrare ($|q_1| = |q|\ ;\ |q_2| = |-q|$), se numește condensator electric (figura 2.1.8). Mărimea definită de raportul (pozitiv) dintre sarcina unei armături și diferența de potențial dintre ele (tensiunea la bornele condensatorului), se numește capacitatea electrică a condensatorului.

$$C = \frac{q}{U_{ab}} \qquad [\mathrm{F}] \tag{2.1.17}$$

În funcție de forma armăturilor, condensatoarele pot fi plane, cilindrice respectiv sferice. Condensatoarele plane și cilindrice pot avea capacitatea constantă sau variabilă (fig. 2.1.8).

Pentru calculul capacității condensatorului plan, distanța dintre armăturile lui se presupune foarte mică, astfel că se neglijează efectul marginal, de curbare a liniilor cîmpului electric, acesta fiind considerat uniform, între cele două armături (figura 2.1.8.a).

Se determină intensitatea cîmpului electric dintre cele două armături, din expresia tensiunii electrice dintre ele

$$U_{ab} = \int \bar{E}\cdot \mathrm{d}\bar{l} = E\cdot d\ ;\ E = \frac{U_{ab}}{d} \tag{2.1.18}$$

și cu ajutorul teoremei lui Gauss, considerînd una din armături cuprinsă în suprafața închisă s

$$\oint_s \bar{E}\cdot \mathrm{d}\bar{s} = E\cdot s = \frac{q}{\varepsilon}\ ;\ E = \frac{q}{\varepsilon\cdot s}$$

Prin egalarea celor două expresii ale intensității cîmpului electric, se obține capacitatea condensatorului plan

$$\frac{U_{ab}}{d} = \frac{q}{\varepsilon\cdot s}\ ;\ C = \frac{q}{U_{ab}} = \frac{\varepsilon\cdot s}{d} \qquad [\mathrm{F}] \tag{2.1.19}$$

2.1.8. Energia electrică înmagazinată în cîmpul electric al condensatorului. Unei variaţii dU a tensiunii $U = U_{ab}$ aplicate la bornele condensatorului, îi corespunde o variaţie a sarcinei electrice acumulate pe armături

$$dq = C \cdot dU$$

şi o variaţie a energiei cîmpului electric dintre acestea

$$d W_e = U \cdot dq = C \cdot U \cdot dU$$

Prin integrarea expresiei între limitele de tensiune 0 şi U, se determină energia acumulată în cîmpul electric al condensatorului, la încărcarea lui

$$W_e = \int_0^U C \cdot U \cdot dU = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{Uq}{2} \quad [J] \qquad (2.1.20)$$

Această energie poate fi redată circuitului în care este conectat condensatorul, la descărcarea lui.

2.1.9. Repartizarea energiei în cîmpul electric. Notînd cu W'_e densitatea de energie electrică (adică energia înmagazinată în unitatea de volum a spaţiului în care există cîmpul electric), se poate exprima energia electrică a unui sistem de corpuri încărcate drept energia cîmpului electric care înconjură acest sistem, cu ajutorul relaţiei

$$W_e = \int_v W'_e \cdot dV\,; \quad dW_e = W'_e \cdot dV \qquad (2.1.21)$$

integrala fiind extinsă asupra întregului spaţiu în care există cîmp electric (al cărui volum este V, elementul de volum fiind dV).

Localizarea corectă a energiei, rezultă prin exprimarea ei în funcţie de mărimile care definesc cîmpul electric ($\overline{E}$ şi $\overline{D}$).

Considerînd un caz simplu, al unui cîmp omogen din dielectricul unui condensator plan cu distanţa d între două plăci paralele, de arie s şi ţinînd seama de relaţiile (2.1.17), (2.1.18), (2.1.19) şi (2.1.20), energia condensatorului este

$$W_e = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon_s}{2d} \cdot U^2 = \frac{\varepsilon_s d}{2} E^2 = \frac{sd}{2\varepsilon} D^2 = V \frac{\varepsilon E^2}{2} = V \frac{D^2}{2\varepsilon} = V \frac{E \cdot D}{2} \qquad (2.1.22)$$

($V = s\,d$ este volumul ocupat de cîmp, în dielectricul condensatorului).

În cazul condensatorului plan, densitatea de energie are valori egale în toate punctele cîmpului electric, fiind dată de relaţia

$$W'_e = \frac{W_e}{V} = \frac{\varepsilon E^2}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon} = \frac{E\ D^1}{2} \qquad \left[\frac{J}{m^3}\right] \qquad (2.1.23)$$

[1] În cazul general (cîmpuri neomogene în medii anizotrope, dar liniare), densitatea volumetrică a energiei se calculează cu relaţia

$$W'_e = \frac{\overline{E} \cdot \overline{D}}{2}$$

2.1.10. Teoremele forțelor generalizate, în cîmpul electric. Forțele care se exercită asupra corpurilor încărcate, situate într-un cîmp electric, nu se pot calcula direct, în toate cazurile, cu teorema lui Coulomb, care este valabilă numai pentru sarcini punctiforme și pentru dielectrici omogeni, în ipoteza cunoașterii repartiției de sarcină electrică pe aceste corpuri.

Teoremele forțelor generalizate permit să se calculeze aceste forțe, prin intermediul lucrului mecanic care s-ar efectua la o deplasare oarecare a corpurilor asupra cărora ele se exercită.

Configurația geometrică a unui sistem de corpuri încărcate se poate caracteriza cu ajutorul unor parametri de poziție, care sînt variabile scalare (cu variații independente), numite coordonatele generalizate ale sistemului, al căror număr este egal cu numărul gradelor de libertate ale acestuia. Coordonatele generalizate pot fi distanțe (de exemplu distanța dintre plăcile unui condensator plan, variabil, la care o armătură execută o mișcare de translație, de exemplu din poziția 1 în poziția 1′ pe distanța dx (dg), figura 2.1. 8.*d*), unghiuri de rotație în jurul unui ax fix (condensatorul variabil din figura 2.1.8. *f*), ariile unor suprafețe variabile, volume variabile. Ele se notează cu x (sau g).

Cînd configurația geometrică a unui sistem de corpuri încărcate are o variație infinitezimală dx (sau dg), forțele X care se exercită asupra corpurilor (și care produc variația coordonatei generalizate), se numesc forțe generalizate. Acestea nu sînt totdeauna forțe propriu-zise. De exemplu, dacă x este o deplasare, X este componenta unei forțe în lungul acelei deplasări ; dacă x este un unghi de rotație, X este momentul forțelor în raport cu axa de rotație; dacă x este o arie, X este o tensiune superficială, dacă x este un volum, X este o presiune , etc.

Prima teoremă a forțelor generalizate în electrostatică, se exprimă prin relația

$$X = -\left(\frac{\partial W_e}{\partial x}\right)_{q = \text{ct}} \tag{2.1.24}$$

conform căreia, forța generalizată X, corespunzătoare coordonatei generalizate x, este egală cu derivata cu semn schimbat a energiei (exprimată în funcție de sarcinile corpurilor din sistem) și de coordonata generalizată care se modifică sub acțiunea forței generalizate, în raport cu coordonata generalizată (variabilă), la sarcini constante ale conductoarelor.

Condiția $q = \text{ct}$, se obține prin deconectarea conductoarelor de la sursele de energie electrică de la care s-au încărcat cu sarcina electrică q_k și modificarea coordonatei generalizate, sub acțiunea forței generalizate.

Semnul minus (—) în expresia forței generalizate, se interpretează observînd că dacă dx este deplasarea produsă sub acțiunea forței electrice X, și lucrul efectuat de această forță este pozitiv ($C = X \cdot dx$), energia cîmpului electric scade ($dW_e < 0$).

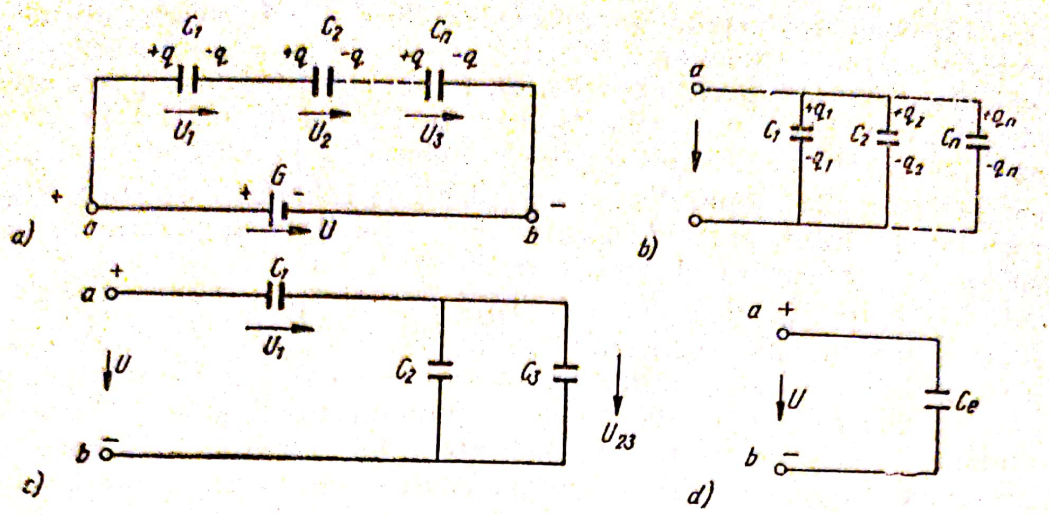


Fig. 2.1.9. Legarea condensatoarelor;
a — în serie; *b* — în paralel; *c* — mixtă (serie — paralel); *d* — capacitatea echivalentă *C*, care rezultă legările anterioare.

A doua teoremă a forţelor generalizate în electrostatică, se exprimă prin relaţia

$$X = \left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)_{U=\text{ct}} \tag{2.1.25}$$

conform căreia forţa generalizată X, corespunzătoare coordonatei generalizate x, este egală cu derivata energiei (exprimată în funcţie de potenţialele corpurilor din sistem şi de coordonata generalizată care se modifică sub acţiunea forţei generalizate), în raport cu coordonata generalizată (variabilă), la potenţiale constante ale conductoarelor.

Condiţia $U = \text{ct}$, se obţine menţinînd corpurile conectate la sursele de energie electrică, în timpul variaţiei coordonatei generalizate, sub acţiunea forţei generalizate.

Cele două expresii (2.1.24) şi (2.1.25), sînt echivalente şi dau acelaşi rezultat. Ele se vor utiliza, în cadrul acestei lucrări, la stabilirea cuplului motor în instrumentele de măsură electrice.

2.1.11. **Legările condensatoarelor (teoremele capacităţilor echivalente).** *Condensatoare legate în paralel* (figura 2.1.9. a) În acest caz, sarcina electrică acumulată de cele n condensatoare este egală cu suma sarcinilor condensatoarelor componente

$$q = q_1 + q_2 + \dots q_n$$

Capacitatea echivalentă (figura 2.1.9.*d*), care înlocuieşte condensatoarele legate în paralel, astfel ca mărimile electrice din circuit să rămînă aceleaşi, este dată de relaţia

$$C_e = \frac{q}{U} = \frac{q_1 + q_2 \dots q_n}{U} = C_1 + C_2 \dots C_n = \Sigma C_n \tag{2.1.26}$$

din care rezultă că valoarea ei, este egală cu suma capacităților condensatoarelor.

Condensatoare legate în serie (figura 2.1.9. a). În acest caz, condensatoarele acumulează sarcini electrice egale $|q|$; tensiunea la bornele a și b, este egală cu suma tensiunilor condensatoarelor

$$U = U_1 + U_2 + \ldots U_n = \frac{q}{c_1} + \frac{q}{c_2} + \ldots \frac{q}{c_n}$$

de unde rezultă valoarea reciprocă a capacității echivalente, egală cu suma valorilor reciproce a capacităților condensatoarelor:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{U}{q} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \ldots \frac{1}{c_n} = \Sigma \frac{1}{c_n} \qquad (2.1.27)$$

Gruparea condensatoarelor serie-paralel (figura 2.1.9. *c*), se rezolvă cu ajutorul relațiilor stabilite la legările serie și paralel.

2.2. ELECTROCINETICA

2.2.1. **Starea electrocinetică.** Un conductor parcurs de un curent electric, se află într-o stare diferită de starea de echilibru electrostatic, numită stare electrocinetică. Aceasta este însoțită de numeroase efecte, dintre care cele mai importante sînt următoarele:

a) efectele mecanice:

— exercitare de forțe și momente asupra porțiunilor de conductoare care se află în stare electrocinetică;

— exercitare de forțe și momente asupra corpurilor magnetizate aduse în prezența conductoarelor aflate în stare electrocinetică.

Efectele mecanice arată că prin aducerea conductoarelor în stare electrocinetică, în jurul lor se produce un cîmp magnetic;

b) efectele chimice — reacții de descompunere a soluțiilor de electroliți (de electroliză), de exemplu în voltametre, în urma cărora pe catod se depun substanțe pozitive, provenite din descompunerea soluției, iar anodul se dizolvă în soluție;

c) efecte calorice — dezvoltarea de căldură în conductoarele parcurse de curent;

d) efecte luminoase — în lămpile electrice cu incandescență (însoțite de efecte calorice sau în lămpile cu descărcări în gaze;

— efecte electrice — variația sarcinii electrice a conductoarelor care se găsesc în stare electrocinetică variabilă în timp (numită și stare electrică nestaționară, spre deosebire de starea electrocinetică constantă în timp, numită stare electrocinetică staționară; ca urmare se poate vorbi și despre curent staționar, constant în timp, sau curent nestaționar, variabil în timp).

Starea electrocinetică consistă, așadar, în mișcarea ordonată, relativă la conductor, a particulelor microscopice libere, purtătoare de sarcină electrică, sub influența forței pe care cîmpul electric din conductor o exercită

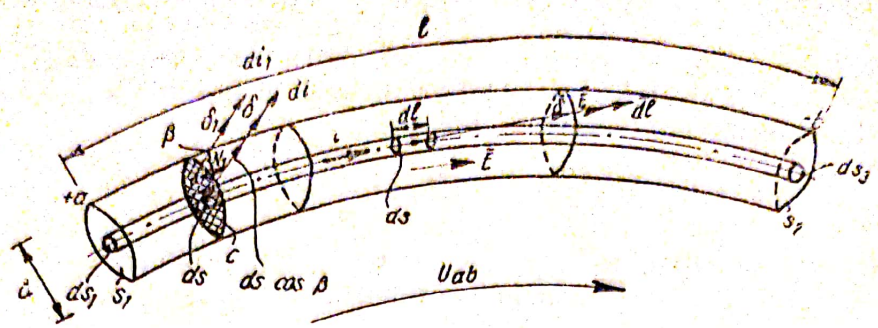


Fig. 2.2.1. Conductor străbătut de curent electric.

asupra lor. Aceste particule sînt electronii în metale şi ionii în electroliţi. Deoarece un ansamblu de particule încărcate electric, în mişcare, constituie un curent electric, se poate spune că un conductor în stare electrocinetică este parcurs de curent electric de conducţie.

2.2.2. **Curent electric. Densitate de curent.** În electrocinetică se studiază particule materiale cu sarcină electrică, în mişcare ordonată, care constituie curentul electric. Sensul de mişcare al sarcinilor electrice pozitive, s-a adoptat, convenţional, ca sens pozitiv al curentului electric.

Purtătorii atomici (microscopici) de sarcină electrică din interiorul corpurilor se numesc liberi, dacă nu sînt localizaţi permanent într-un anumit atom sau într-o anumită moleculă (cum sînt electronii de valenţă în metale, ionii în electroliţi, etc) şi legaţi, în caz contrar. În dielectrici şi în semiconductori există purtători de sarcină (ioni sau electroni) care în cîmpul periodic al reţelei cristaline a materialului respectiv pot avea deplasări limitate dintr-un minim de potenţial în unul dintre minimele vecine. Dacă în urma unei astfel de deplasări rămîne un loc gol, neocupat de particule în structura reţelei, numit lacună (gol, în cazul ionilor şi gaură, în cazul electronilor), prin ocuparea lui de un alt purtător vecin se creează o nouă lacună vecină. Acest proces poate continua din aproape în aproape, astfel încît şirul de lacune create succesiv să fie echivalent cu „mişcarea" lacunei în masa întregului cristal şi analog cu mişcarea unui purtător liber de nume contrar purtătorilor ale căror deplasări limitate au contribuit la crearea lacunelor.

Valoarea curentului electric printr-o suprafaţă s, limitată de un contur c (fig. 2.2.1), este dată de raportul dintre sarcină electrică dq ce trece prin suprafaţă şi timpul de trecere dt.

$$i = \frac{dq}{dt} \qquad [A] = \left[\frac{C}{s}\right] \tag{2.2.1}$$

Curentul electric este o mărime scalară, avînd ca unitate de măsură amperul. În practică se mai foloseşte unitatea de sarcină electrică, amper — ora.

$$1\text{Ah} = 1\text{A} \cdot 3600\ s = 3600\ C = 3{,}6\ \text{kC} \tag{2.2.2}$$

Densitatea de curent este egală cu raportul dintre componenta normală a curentului pe o suprafață ds și aria acestei suprafețe.

$$\delta = \frac{di}{ds \cdot \cos\beta}; \quad di = \delta \cdot ds \cdot \cos\beta = \bar{\delta} \cdot d\bar{s}; \quad i = \int_s \bar{\delta} \cdot d\bar{s} \qquad (2.2.3)$$

unde β este unghiul format de normala pozitivă la suprafața transversală s (dirijată în sensul de mișcare al curentului) și direcția curentului electric. La conductoarele la care diametrul d este foarte mic față de lungimea l, unghiul β (care se referă la o secțiune transversală a conductorului i) este zero, astfel că avem

$$i = \delta \cdot s \ [A]; \quad \delta = \frac{i}{s} \left[\frac{A}{m^2}\right] \qquad (2.2.4)$$

După felul purtătorilor de sarcină și al vitezelor considerate, deosebim curentul electric de conducție, de convecție (de transport), de deplasare Röentgen teoretic i_R și amperian. Se vor trata, pe scurt, cazurile care prezintă interes în acest curs.

2.2.3. **Curentul electric de conducție.** Curentul electric de conducție (i_c), consistă în mișcarea purtătorilor liberi în raport cu corpul care îi conține. După natura purtătorilor (ioni, electroni sau lacune), curentul de conducție se numește curent ionic, curent electronic sau curent lacunar, iar despre corpul respectiv (în care apar acești curenți) se spune că prezintă conducție ionică (de exemplu electroliții), conducție electronică (de exemplu metalele și semiconductorii de tip n) sau conducția lacunară (de exemplu semiconductorii de tip p).

Curentul electric de conducție se produce local sub acțiunea unui cîmp electric sau a unui cîmp electric imprimat.

Proprietatea corpurilor de a fi sediul unui curent electric de conducție se numește conductibilitate electrică și se caracterizează local prin mărimea de material γ, numită conductivitate electrică.

Legea lui Ohm sub forma diferențială (elementară) arată că într-un mediu omogen și izotrop (de exemplu într-un conductor metalic), unde vectorul densității de curent coincide, ca direcție și sens, cu vectorul intensității cîmpului electric, densitatea de curent este proporțională cu intensitatea cîmpului electric, conform relației

$$\bar{\delta} = \gamma \cdot \bar{E} = -\frac{\bar{E}}{\rho} \qquad \left[\frac{A}{m^2}\right] \qquad (2.2.5)$$

Microscopic, conductivitatea electrică provine din convecția microparticulelor încărcate, realizată prin deplasarea ordonată, relativă la corpul considerat, a unor purtători de sarcină electrică (electroni, ioni atomici, ioni moleculari, etc), sub acțiunea unor forțe a căror valoare medie e diferită de zero, de natură electrică (corespunzătoare cîmpului electric macroscopic $\bar{E}$) sau neelectrică (corespunzătoare cîmpului electric imprimat $\bar{E}_i$).

Scanned with OKEN Scanner

Unitatea de măsură a conductivităţii este $1/\Omega \cdot m$, unde raportul $1V/1A = 1\,\Omega$, este unitatea de măsură a rezistenţei electrice, numită ohm.

Mărimea inversă a conductivităţii electrice se numeşte rezistivitate electrică:

$$\rho = \frac{1}{\gamma} = \frac{\overline{E}}{\overline{\delta}} \quad [\Omega m] = \frac{V}{m} \cdot \frac{m^2}{A} = \left[\frac{\Omega m^2}{m}\right] = [\Omega \cdot m] \qquad (2.2.6)$$

În practica proiectării, ρ se exprimă în $\Omega\ mm^2/m$.

Prin încălzire, agitaţia termică a particulelor elementare creşte, ceea ce are ca urmare creşterea rezistivităţii la conductoare (datorită scăderii vitezei medii) şi scăderea ei la dielectrici (se favorizează smulgerea electronilor de pe orbite): rezistivitatea la o temperatură t, este

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha (t - t_0)]\,;\ \gamma_t = \gamma_0 [1 - \alpha(t - t_0)] \qquad (2.2.7)$$

unde: t_0 este temperatura de referinţă, în °C, care convenţional, se ia 20°C; t — temperatura finală de încălzire a corpului; ρ_0, γ_0 — valorile lui ρ şi γ la temperatura t_0; α — coeficient de temperatură (termic) al rezistenţei ($\alpha_{Al} = \alpha_{Cu} = 0{,}004\ \Omega/1°C$; $\alpha_{Fe} = 0{,}0045 - 0{,}006\ \Omega/1°C$); în general este pozitiv la metale şi negativ la dielectrici.

La trecerea curentului electric printr-un conductor, acesta se încălzeşte, deoarece energia cinetică a electronilor în mişcare, la ciocnirea lor cu un atom, se transformă în căldură.

Deplasarea electronilor într-un conductor metalic (conductor de specia I), nu este însoţită de modificări chimice ale acestuia, iar reţeaua lui cristalină rămîne imobilă, nemodificată.

2.2.4. **Curentul electric de convecţie (de transport).** Curentul electric de convecţie consistă în mişcarea de antrenare a purtătorilor liberi, în exces sau în lipsă (faţă de starea neutră a corpurilor), odată cu elementele de corp care îi conţin şi în raport cu sistemul de referinţă faţă de care se consideră mişcarea macroscopică a acestor elemente. În expresia densităţii curentului electric de convecţie intervin deci densitatea de volum a sarcinii electrice ρ_v şi viteza macroscopică locală a corpurilor v.

Curentul de convecţie (i_t), apare în soluţiile lichide ale sărurilor dizolvate şi în gazele ionizate (fig. 2.2.3), fiind format din particule elementare, molecule sau corpuri încărcate cu sarcini electrice, care se mişcă liber sub influenţa forţei electrostatice. Densitatea de curent nu poate fi reprezentată prin relaţia (2.2.5), deoarece particulele cu sarcină electrică se mişcă liber, în cîmpul electric, cu o mişcare uniform accelerată, proporţională cu intensitatea cîmpului; ea se exprimă în funcţie de densitatea de volum ρ_v a sarcinilor electrice şi viteza lor de mişcare v

$$\overline{\delta} = \rho_v \cdot \overline{v} \quad \left[\frac{A}{m^2}\right] \qquad (2.2.8)$$

Un tip special de curent electric de convecţie este curentul electric în vid, constituit de mişcarea de ansamblu în vid a unui număr mare de par-

Tabela 2.2.1

Tensiuni imprimate

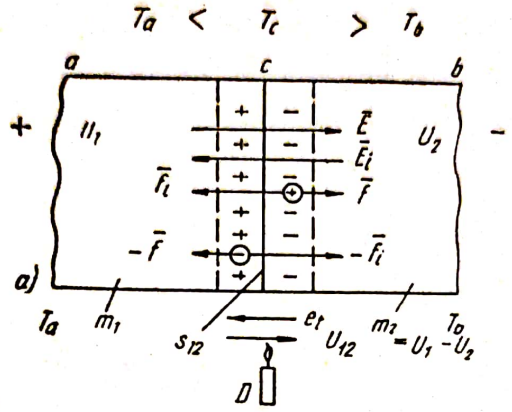
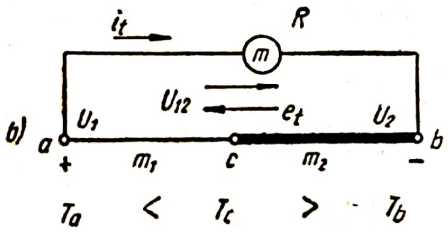
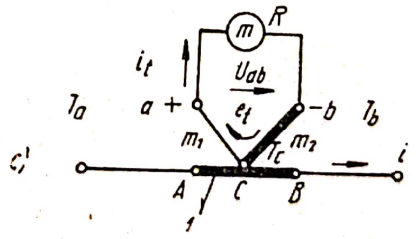
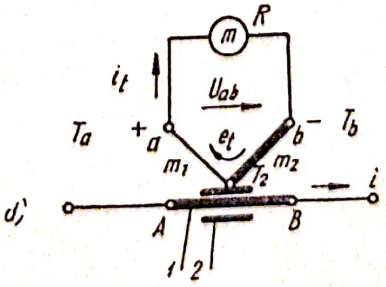
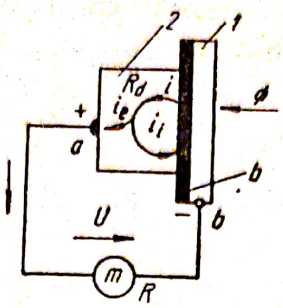
Nr. crt.	Tensiunea imprimată	Schema de principiu	Observații
0	1	2	3
1	Termică		*a)* — cîmpul imprimat termoelectric de contact; m_1, m_2 — metale diferite; T_a, T_b — temperatura extremităților reci; T_c — temperatura extremităților active (calde); e_t — tensiunea imprimată; U_{12} — tensiunea la bornele termoelementului; E_i, f_i — cîmpul și forța, imprimate termoelectrice; E, f — cîmpul electric și forța electrostatică; c — punct de sudură; *b*), *c*) — termoelemente cu încălzire directă; i — curent de încălzire; *1* — fir de încălzire; *d*) — termoelement cu încălzire indirectă
2			
3	Termo-electrică		
4			

Tabela 2.2.1 (continuare)

0	1	2	3
5	Fotoelectrică		Schema echivalentă a unei celule fotoelectrice cu strat de baraj: — flux luminos; *b* — strat de baraj; R_i — rezistenţa inversă; R_d — rezistenţa directă

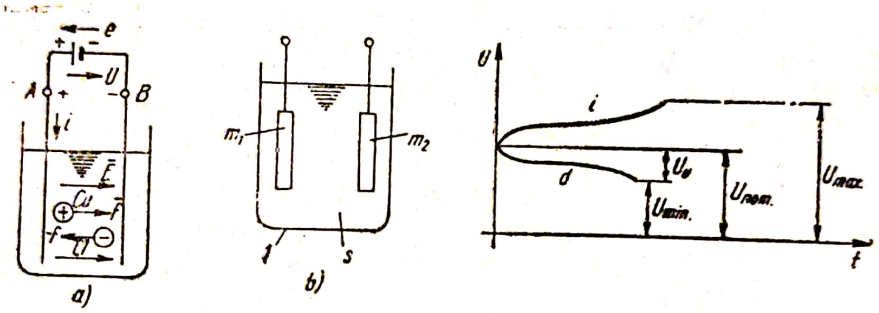


Fig. 2.2.2.

a — Curentul de transport în soluţie de clorură de cupru, obţinut în voltametru: *e* — sursă de forţă electromotoare; *i* — curentul electric în circuit (de conducţie în metal, de transport în soluţie); *E* — cîmpul electric; $\pm f$ — forţa electrostatică; *Cu*, *Cl* — ioni de cupru şi de clor; *A*, *B* — electrozi cu borne. *b* — Schema de principiu a acumulatorului; *1*, *2* — electrozi; *3* — recipient; *4* — electrolit în soluţie; *c* — Curbele de încărcare (*i*) şi descărcare (*d*): U_{max} — tensiunea maximă la încărcare; U_{nom} — tensiunea nominală; U_{min} — tensiunea minimă de descărcare; U_v — variaţia de tensiune la bornele acumulatorului.

ticule încărcate (de exemplu fluxul de electroni, fluxul de protoni, etc.), care are aplicaţii largi în tuburile şi în instalaţiile electronice.

În soluţiile lichide şi în sărurile topite, curentul de transport este ionic, fiind constituit de deplasarea ionilor pozitivi şi negativi în sensuri opuse, spre cei doi electrozi A, B (Fig. 2.2.2). Deplasarea este însoţită de transport de substanţă, producîndu-se o modificare a mediului, din punct de vedere chimic. Metalul din soluţie se depune pe catod, iar densitatea soluţiei se modifică. Dacă anodul este din acelaşi metal ca şi sarea metalică dizolvată în soluţie, are loc dizolvarea lui. Conductoarele la care trecerea curentului este însoţită de reacţii chimice, se numesc conductoare de specia a II-a (electrolitice).

Fenomenul depunerii ionilor din soluţie la electrozi şi neutralizarea lor, se numeşte electroliză, iar instalaţia în care se efectuează electroliza se numeşte voltametru. Electroliza are aplicaţii în galvanotehnică (galvanostegia, galvanoplastia), în electrometalurgie (elaborarea şi rafinarea metalelor), etc.

Electroliza este guvernată de legea electrolizei, care înglobează cele două legi ale lui Faraday. Conform acestei legi, masa m care se depune la un electrod al băii electrolitice este proporțional cu sarcina electrică care trece prin baie și cu echivalentul chimic al elementului depus:

$$m = \frac{1}{F_0} \cdot \frac{A}{n} \int_{t_0}^{t_0+t} i \, dt = \frac{1}{F_0} \cdot \frac{A}{n} \cdot q \cdot 10^{-3} \quad [kg] \qquad (2.2.9)$$

în care: A, este echivalentul chimic al substanței depuse prin electroliză, iar n, este valența produsului depus; q, este sarcina electrică corespunzătoare curentului i prin baie în timpul t; F_0, este o constantă universală, numită constanta lui Faraday ($F_0 = 96500$ Coulombi pe echivalent gram).

Mărimile m și A se exprimă în unități coerente, deobicei în grame și respectiv în grame/mol. În acest caz, A este masa unui atom-gram, numeric egală (în grame) cu masa atomică. Echivalentul chimic exprimat în grame, se numește echivalent gram.

În gaze, curentul de transport este constituit de molecule ionizate, care se deplasează sub influența cîmpului electric $\bar{E}$, produs de tensiunea aplicată la bornele a doi electrozi introduși într-un tub de sticlă, în care se află un gaz sau vapori metalici, la o presiune de cîțiva tori (1 torr = = 1 mm col. Hg) (fig. 2.2.3).

În practică, ionizarea gazului are loc printr-o descărcare electrică inițială în tub, care se obține aplicînd tubului o tensiune inițială mai mare decît cea de regim, numită tensiune de aprindere. Ca urmare, rigiditatea dielectrică a gazului este depășită și apar o serie de descărcări, în urma cărora gazul se ionizează, devine conductor, iar tensiunea se poate micșora la valoarea nominală.

Tuburile cu descărcări luminoase și tuburile cu fluorescență, se folosesc la iluminatul electric.

2.2.5. **Curentul elec dtrice deplasare electrică în dielectric.** Curentul de deplasare electrică în dielectric (i_d), apare în dielectricii introduși într-un cîmp electric variabil, datorită fenomenului inducției electrice în dielectric. Densitatea de curent de deplasare, are o componentă produsă prin polarizare ($\delta_p = dP/dt$) și o componentă în vid, care caracterizează procesul

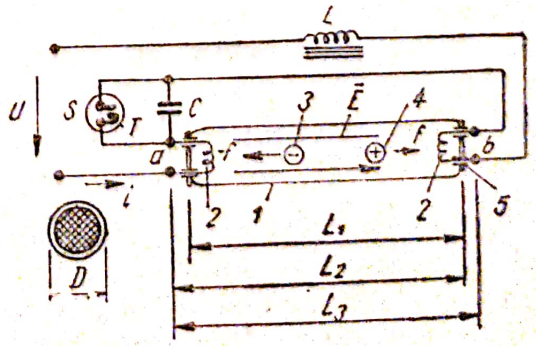


Fig. 2.2.3. Curentul de transport în gaze:
1 – balon de sticlă; *2* – anod; *3* – ion negativ; *4* – ion pozitiv; *5* – catod; *a*, *b* – borne.

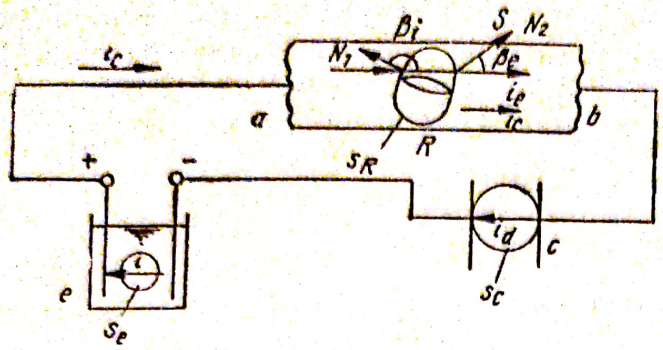


Fig. 2.2.4. Circuit electric închis.

fizic al formării cîmpului electric în vid şi care corespunde variaţiei în timp a componentei $\bar{D}_0 = \varepsilon_0 \bar{E}$ a vectorului $\bar{D}$ a deplasării electrice în dielectric ($\bar{\delta}_0 = d\bar{D}_0/dt$)

$$\bar{\delta} = \frac{d\bar{D}}{dt} = \frac{d\bar{D}_0}{dt} + \frac{d\bar{P}}{dt} = \bar{\delta}_0 + \bar{\delta}_p \quad \left[\frac{A}{m^2}\right] \tag{2.2.10}$$

2.2.6. Curentul electric amperian (sau molecular). Acest curent, consistă în mişcarea, pe orbite închise şi de dimensiuni submoleculare, a purtătorilor legaţi, precum şi în mişcarea de rotaţie proprie (de spin) a particulelor elementare. El a fost introdus de Ampère, pentru a fundamenta microscopic, pe bază de curenţi electrici, starea macroscopică de magnetizaţie a substanţei.

2.2.7. Principiul continuităţii curentului electric. Principiul continuităţii curentului electric, elucidează problema circulaţiei curentului electric, avînd următorul enunţ: curentul electric total care trece printr-o suprafaţă închisă, situată într-un mediu oarecare, este egal cu zero. Conform acestui principiu, neexistînd pierderi de sarcină în interiorul suprafeţei, circulaţia curentului poate avea loc numai pe căi închise. În circuitul închis din figura 2.2.4, în sursa de t.e.m. de natură chimică e, avem curent de transport, în condensatorul C, avem curent de deplasare, iar în rezistorul R, avem curent de conducţie. Curentul i_i care intră în oricare din suprafeţele s_R, s_e, s_c (considerate în R, e, C), este egal cu curentul i_e care iese din suprafeţe. Expresia matematică a principiului continuităţii curentului electric, este dată de relaţia

$$i = \oint_s \bar{\delta} \cdot \bar{ds} = 0 \quad \text{sau} \quad i_c + i_t + i_d + i_R = 0 \tag{2.2.11}$$

unde i este curentul total ce trece prin suprafaţa închisă s, iar δ este densitatea de curent, independentă de natura curentului.

2.2.8. Cîmpuri electrice imprimate. În anumite condiţii, în substanţă pot să apară aşa numitele „cîmpuri electrice imprimate" (cu intensitatea $\bar{E}_i$), independente de cîmpul electric exterior, care nu depind de repartiţia sarcinilor electrice, fiind condiţionate de stările locale de neomogenitate fi-

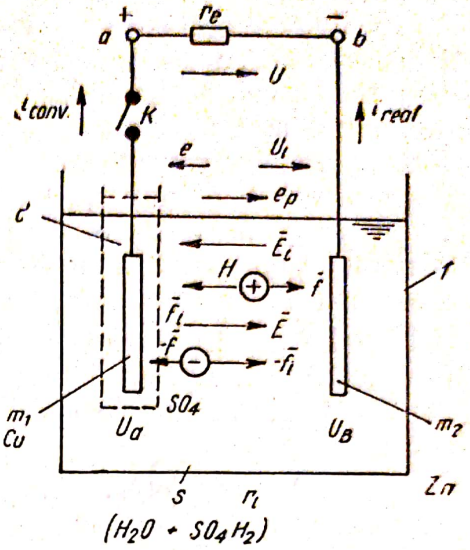


Fig. 2.2.5.

a — Cîmpul imprimat termoelectric de contact; m_1, m_2 — metale diferite; T_a, T_b — temperatura extremităților reci; T_c — temperatura extremităților active (calde); e_t — tensiunea imprimată termoelectromotoare de contact; U_{12} — tensiunea la bornele *a*, *b* ale termoelementului; $\bar{E}_i$, $\bar{f}_i$ — cîmpul imprimat termoelectric și forța imprimată; $\bar{E}$, $\bar{f}$ — cîmpul electric și forța electrostatică; *c* — punctul de sudură al celor două metale; *b* — termoelemen (termocuplu, pilă termoelectrică), conectat la un circuit exterior cu rezistența R; i_t — curentul în circuit; *c* — termoelement cu încălzire directă; *d* — termoelement cu încălzire indirectă; *1* — fir de încălzire; *i* — curent de încălzire; *2* — material dielectric, pentru realizarea încălzirii indirecte.

zico — chimice sau de accelerația corpurilor (din acest motiv, cîmpurile imprimate se consideră de natură neelectrică). În cîmpurile imprimate sînt acumulate energii, de natură neelectrică, ce pot fi transformate în energie electrică, prin intermediul generatoarelor. Forțele cîmpului imprimat $\bar{f}_i$, care se exercită asupra particulelor cu sarcină electrică, învinge forțele electrostatice $\bar{f}$, exercitate asupra acelorași particule și dau naștere unor tensiuni electromotoare e, care produc separarea sarcinilor electrice, pozitive, și negative, în substanță, astfel încît la bornele celor doi electrozi *a*, *b* apare tensiunea U, iar generatorul poate furniza energie electrică unui receptor r_e din circuitul exterior (fig. 2.2.5). Deplasarea sarcinilor electrice, în sens contrar forțelor cîmpului electric (în interiorul sursei), are loc atîta timp cît sînt satisfăcute condițiile $\bar{E}_i > \bar{E}$ și $\bar{f}_i > \bar{f}$. Cînd se ajunge la starea de echilibru electrostatic ($\bar{E}_i + \bar{E} = 0$), deplasarea sarcinilor electrice, încetează (de exemplu, cazul surselor chimice, care în regim de mers în gol, cu circuitul exterior deschis, au tensiune de borne constantă).

Cîmpurile imprimate pot fi localizate într-un volum din substanță (cîmpuri imprimate de volum; de accelerație; de concentrație; termoelectrice) sau apar pe suprafețe de discontinuitate de contact, neomogene, a două conductoare (cîmpuri imprimate de contact; termoelectrice de contact; galvanice; fotovoltaice). Dintre acestea, se vor examina, pe scurt, următoarele cîmpuri imprimate:

— *Cîmpurile imprimate termoelectrice de contact*, apar la suprafața de contact s_{12} încălzită, obținută prin sudarea a două metale diferite m_1, m_2 (tabela, 2.2.1). Datorită agitației termice, unul din metale captează electronii celuilalt metal și se încarcă cu sarcini negative, celălalt rămînînd încărcat pozitiv. În practică, fenomenul apariției cîmpului imprimat termoelectric, este folosit la construirea termoelementelor (termocuplelor), care constituie surse de energie (pile) termoelectrice.

În tabela 2.2.1., este reprezentată schema de principiu a unui termoelement cu încălzire directă (cu contact). Încălzirea punctului de sudură c, a metalelor m_1, m_2, se realizează prin trecerea curentului i (continuu sau alternativ) prin firul de încălzire AB. Temperaturile T_a, T_b, ale extremităţilor a, b fiind mai mici decît temperatura T_c a punctului de sudură c, apare forţa termoelectromotoare e_t, care, în circuitul închis cu rezistenţa R, produce curent continuu i_t. Dispozitivul se poate folosi la construirea unor instrumente de măsură, deviaţia instrumentului, produsă de i_t, fiind proporţională cu pătratul curentului i (ampermetru, voltmetru, wattmetru, termometru cu termocuplu, etc).

În tabela 2.2.1, este reprezentat un termoelement cu încălzire indirectă (fără contact), realizată prin intermediul unui manşon dielectric 2, folosit pentru a elimina unele erori de măsurare care apar la termoelementul cu contact.

— *Cîmpurile imprimate fotovoltaice* se produc sub influenţa luminii care cade pe suprafaţa de separaţie dintre un semiconductor şi un metal, realizîndu-se astfel surse de energie fotoelectrice (fotoelemente). Fenomenul este folosit la construirea celulelor fotoelectrice cu strat de baraj, (de exemplu cu seleniu ; tab. 2.1.1). Fluxul luminos Φ, căzînd pe stratul de baraj b, are loc transformarea energiei cinetice a cuantelor de lumină în energie termică, se produce o agitaţie termică a particulelor elementare cu sarcină electrică din stratul de baraj, iar electronii liberi trec în direcţia corespunzătoare rezistenţei electrice minime a fotocelulei (rezistenţa directă R_d), producîndu-se un curent fotoelectric primar i, continuu, proporţional cu fluxul luminos. Aceasta se ramifică în curenţii i_e (prin circuitul exterior cu rezistenţa R) şi în i_i, care se închide prin rezistenţa inversă R_i a celulei ($R_d \ll R_i$). Caracteristica spectrală a celulei fotoelectrice cu seleniu fiind apropiată de sensibilitatea ochiului uman, ele se folosesc la construcţia luxmetrelor, care sînt instrumente folosite la măsurarea iluminării, de exemplu, în instalaţiile electrice de iluminat.

— *Cîmpurile imprimate de contact, galvanice* se produc la contactul între un metal şi un electrolit în soluţie.

Acest fenomen se explică prin faptul că presiunea de dizolvare, care are ca urmare trecerea ionilor pozitivi din metal în electrolit, este diferită de presiunea osmotică a ionilor pozitivi ai metalului din electrolit (care tinde să introducă ionii metalici pozitivi din electrolit în metal). Pe baza acestui fenomen se construiesc pilele (elementele) galvanice, care constituie surse galvanice de tensiuni electromotoare (de forţe electromotoare).

Ca exemplu se arată elementul galvanic descoperit de Volta (fig. 2.2.5). Acesta constă dintr-un recipient de sticlă în care se află o soluţie de acid sulfuric dizolvat în apă şi în care sînt introduşi electrozii din cupru şi zinc. Prin dizolvarea zincului de către apa acidulată, energia chimică a ansamblului zinc — acid sulfuric, se transformă în energie electrică.

La suprafaţa de separaţie dintre soluţie şi placa de cupru, încărcată pozitiv prin ionii de hidrogen produşi prin disocierea electrolitului, apare o diferenţă de potenţial de + 0,6 V, caracteristică pentru cupru, iar între

zinc și soluție, tensiunea este de — 0,51 V, astfel încît f.e.m. a pilei Volta, dată de diferența dintre potențialele electrozilor, este:

$$e = U_a - U_b = 0{,}6 - (-0{,}51) = 1{,}11\ \text{V}$$

Apariția f.e.m. de polarizare e_i, produsă de hidrogenul depus pe anod, se evită punînd în jurul acestuia o substanță depolarizantă, care se combină cu hidrogenul.

La elementele galvanice (elemente primare) catodul se consumă în timpul funcționării, astfel încît la un grad înaintat de consumare a lui, elementul nu mai furnizează energie electrică.

2.2.9. **Acumulatoarele electrice.** Acumulatoarele electrice sînt elemente galvanice secundare, în care au loc procese electrochimice variabile. La încărcarea lor (cînd funcționează ca receptoare), energia electrică dată de generatorul de încărcare se transformă în energie chimică, prin modificarea compoziției chimice a electrozilor și a electrolitului. La descărcare (cînd funcționează ca generatoare), energia chimică se transformă în energie electrică, fenomenul fiind iarăși însoțit de transformarea compoziției chimice a electrozilor și electrolitului. În figura 2.2.2. *b,c* este dată schema de principiu a acumulatoarelor și curbele de variație a tensiunii de încărcare și descărcare.

Acumulatoarele cu plumb (acide), au un recipient din sticlă, iar ca electrolit acid sulfuric dizolvat în apă; electrodul pozitiv este din plumb pe care se așază Pb_2O (oxid de plumb) iar electrodul negativ este din plumb spongios. Reacțiile chimice, la încărcare și descărcare, sînt date de relația:

$$\underset{\text{anod}}{SO_4Pb} + 2H_2O + \underset{\text{catod}}{SO_4Pb} \underset{\text{descărcare}}{\overset{\text{încărcare}}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{anod}}{PbO_2} + 2SO_4H_2 + \underset{\text{catod}}{Pb} \qquad (2.2.12)$$

Domeniul de utilizare la descărcare, este cuprins între 2 și 1,8V. (U_n = = 2 V; U_{min} = 1,8V).

Acumulatoarele alcaline constau dintr-un vas sudat, din fier nichelat, în care se află electrolitul și doi electrozi.

Acumulatoarele cu fier — nichel au ca electrolit o soluție de hidrat de potasiu (KOH). Electrodul negativ constă din fier spongios, iar cel pozitiv are ca masă activă hidroxid de nichel, $Ni(OH)_3$. Domeniul de utilizare la descărcare, este cuprins între U_n = 1,45 V și U_{min} = 1,15 V.

Capacitatea unui acumulator reprezintă sarcina electrică pe care o poate furniza pînă la scăderea tensiunii la U_{min}. Se măsoară în amperi — ore (Ah):

$$q = i \cdot t \quad [\text{Ah}] \qquad (2.2.13)$$

În cazul cînd curentul debitat de acumulator nu este constant ci are valorile i_k, în intervalele de timp t_k, capacitatea este dată de relația

$$q = \int_0^t i_k \cdot dt \qquad [\text{As}]$$

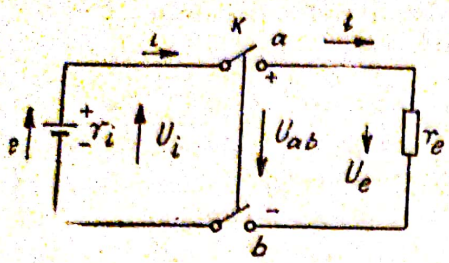


Fig. 2.2.6. Circuit electric simplu; e — sursă de f.e.m.; K — întrerupător; r_e — receptor (consumator); r_i — rezistenţa interioară a sursei; a, r_e b — circuit exterior; b e a circuit interior.

fiind îndeplinită condiţia $i_h \leqslant i_d$, unde i_d este intensitatea maximă admisă pentru curentul de descărcare al acumulatorului.

Valoarea maximă a curentului de încărcare este

$$i_i = \frac{q}{8} \quad [A] \qquad (2.2.14)$$

Valoarea maximă a curentului de descărcare este

$$i_d = \frac{q}{10} \quad [A] \qquad (2.2.15)$$

Acumulatoarele se folosesc ca surse de energie electrică la autovehicule, la electrocare, la iluminatul de siguranţă, etc.

2.2.10. **Circuite liniare de curent continuu.** Circuitul electric se defineşte ca fiind un sistem de medii (închis) prin care poate circula curentul electric, avînd o porţiune în care se generează o f.e.m. (de către o sursă de energie electrică), numită circuit interior şi o porţiune în care se utilizează energia dată de sursă, numită circuit exterior (fig. 2.2.6). În figură sînt indicate sensurile pozitive, convenţionale, ale t.e.m.e, tensiunii de borne U şi curentului i.

Tensiunea U aplicată la bornele circuitului exterior, este dată de diferenţa de potenţial la bornele circuitului

$$U = U_{ab} = U_a - U_b \qquad (2.2.16)$$

Diferenţa de potenţial U_e care apare la bornele rezistenţei r_e din circuitul exterior, la trecerea curentului electric i prin ea, se numeşte cădere de tensiune. Valoarea ei este dată de relaţia

$$U_e = i \cdot r_e \quad [V] \qquad (2.2.17)$$

În cazul circuitului din figura (2.2.6), căderea de tensiune este egală cu tensiunea aplicată la bornele circuitului ($U_e = U$).

Generatorul din circuit are o rezistenţă interioară r_i, astfel încît la trecerea curentului i prin el, apare o cădere de tensiune interioară

$$U_i = i \cdot r_i \qquad (2.2.18)$$

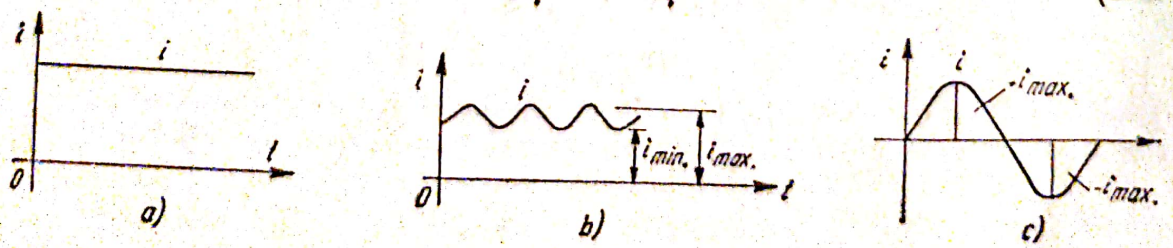


Fig. 2.2.7.

a — curent continuu; b — curent continuu pulsatoriu; c — curent alternativ.

care reprezintă lucrul mecanic efectuat la transportul sarcinii electrice unitare pozitive, în circuitul interior (în interiorul sursei).

Așa după cum s-a arătat, căderile de tensiune U_j se exprimă în funcție de curenți, ținînd seama de proprietățile de material ale porțiunilor de circuit, caracterizate cu ajutorul unor mărimi de material numite parametri circuitului: rezistența conductorului; inductivitatea proprie și mutuală; capacitatea dintre conductoare.

În curent continuu, parametrii circuitului sînt rezistența R și conductanța G (sau r, g) în care energia electrică absorbită se transformă în căldură sau lucru mecanic.

În curent continuu, ceilalți parametri ai circuitului (capacitivi și inductivi), apar în regim tranzitoriu (închiderea și deschiderea circuitului; variația intensității curentului în circuit etc.).

Din energia totală furnizată de sursă, o parte se pierde în interiorul ei, la transportul sarcinii electrice. Deoarece pierderea de energie în interiorul sursei este proporțională cu rezistența ei interioară, aceasta trebuie să aibă valori minime ($r_i \ll$).

Un curent al cărui sens de parcurgere a circuitului, precum și intensitatea sa, sînt constante în timp, se numește curent continuu (fig. 2.2.7.a).

Un curent al cărui sens este constant în timp dar intensitatea lui este variabilă, între o valoare minimă și una maximă, se numește curent continuu pulsatoriu (curent unidirecțional; fig. 2.2.7.b).

Un curent al cărui sens (și intensitate) se schimbă periodic în timp, se numește curent alternativ (fig. 2.2.7. c).

În funcție de valoarea rezistenței r_e din circuitul exterior, pot surveni următoarele cazuri de funcționare:

Funcționarea în sarcină: întrerupătorul K este închis și în circuit se stabilește un curent i.

Între f.e.m.e, și căderile de tensiune din circuit, se stabilește relația

$$r = U + U_i \tag{2.2.19}$$

conform căreia f.e.m. se mai poate defini ca fiind lucrul mecanic necesar pentru a transporta sarcina electrică unitară pozitivă, de-a lungul întregului circuit închis.

Funcționarea în gol: întrerupătorul K este deschis, rezistența exterioară este infinită ($r_e = \infty$) curentul în circuit este zero, ($i = 0$), iar tensiunea la bornele sursei este, practic, egală cu f.e.m. a generatorului deoarece căderea de tensiune interioară nu apare în acest caz.

Funcționarea în scurt circuit: întrerupătorul K este închis iar rezistența exterioară este zero ($r_e = 0$), astfel încît valoarea curentului în circuit (numit curent de scurtcircuit i_k), determinată de valoarea rezistenței interioare a sursei ($r_i \ll$), crește foarte mult (ceea ce poate duce la distrugerea sursei), iar tensiunea la borne este zero; valoarea curentului este

$$i_k = \frac{e}{r_i} \gg \tag{2.2.20}$$

Problema care se pune la studiul circuitelor electrice, este aceea a determinării parametrilor sau a mărimilor electrice, cu ajutorul legilor circuitelor electrice.

2.2.11. **Legea conducției electrice (legea lui Ohm).** Relația $\bar{\delta} = \gamma \bar{E}$, care caracterizează un mediu conductor pentru $\gamma = \text{const.}$, arată că în cazul curentului continuu, diferența de potențial dintre două secțiuni ale conductorului între care nu există surse de t.e.m., este proporțională cu curentul din conductor. Această diferență de potențial, care apare la trecerea unui curent electric printr-un conductor, se numește cădere de tensiune.

Se consideră un conductor străbătut de curent electric, cuprins între secțiunile transversale S_1, S_2 care constituie suprafețe echipotențiale, având potențialele U_1, U_2 (fig. 2.2.1). Căderea de tensiune pe lungimea l, care nu cuprinde surse de f.e.m., este

$$u = U_1 - U_2 \tag{2.2.21}$$

Se consideră un tub de curent cu secțiunea ds, în care vectorul intensității cîmpului electric $\bar{E}$ concide cu direcția și sensul vectorului densității de curent $\bar{\delta}$, astfel încît unghiul format de $\bar{E}$ și $\bar{\delta}$ este zero ($\beta = 0$). Pentru un element de lungime dl, avem

$$u = \int_l \bar{E} \cdot d\bar{l} = \int_l E \cdot dl = \int_l \rho \cdot \delta \cdot dl\,; \tag{2.2.22}$$

cu $\rho = \frac{1}{\gamma}$, $\rho = \frac{di}{ds}$, pentru $di = \text{const.}$ de-a lungul tubului de curent (s, l și ρ fiind în practică de obicei constante), avem[1]

$$U = \int_l \rho \frac{di}{ds} \cdot dl = \int_l \rho \frac{dl}{ds} \cdot di = \rho \frac{l}{s} \cdot i = r \cdot i \tag{2.2.23}$$

unde mărimea

$$r = \rho \frac{l}{s} \qquad [\Omega] \tag{2.2.24}$$

este rezistența electrică a conductorului pe lungimea l. Relația $u = r \cdot i$, este cunoscută sub denumirea de legea lui Ohm, cu următorul enunț: raportul dintre tensiunea, și intensitatea curentului electric, într-un circuit de curent

---

[1] Integrala $\int_l \rho \frac{dl}{ds} \cdot di$, se poate efectua simplu numai în cazul conductoarelor filiforme, pentru care $\delta = di / ds = i / s$ și se obține:

$$\int_l \rho \frac{dl}{ds} \cdot di = \int_l \rho \frac{i}{s} \cdot dl = \rho \frac{l}{s} \cdot i.$$

continuu, este egal cu rezistența circuitului, dacă circuitul nu are surse (circuit pasiv).

Unitatea de măsură a rezistenței este ohmul (1 Ω = 1V/1A), având multiplii uzuali kiloohmul (1 k Ω = 10^3Ω) și megohmul (1 M Ω = 10^6Ω).

Rezistența electrică este variabilă în funcție de temperatura ei (datorită agitației termice a particulelor elementare); ea este dată de relația

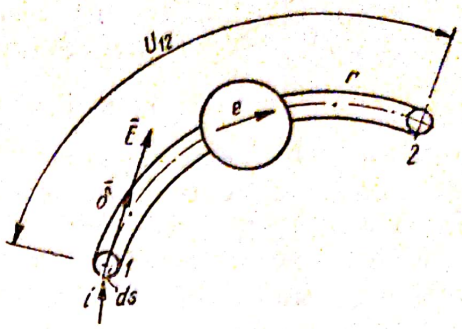


Fig. 2.2.8. Porțiune de circuit filiform cu sursă de t.e.m.

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t - t_0)] \quad (2.2.25)$$

unde R_t este rezistența electrică la temperatura t°C

R_0 — rezistența electrică la temperatura de referință (20°C)

α — coeficient termic (Ω/1°C); este același coeficient, ca în cazul rezistivității (rezistivitatea este rezistența unui conductor cu secțiunea și lungimea, unitare).

Conductanța g, este egală cu valoarea reciprocă a rezistenței

$$g = \frac{1}{r} \qquad [S] \quad (2.2.26)$$

și are ca unitate de măsură Siemensul (IS = 1/1 Ω). Utilizînd conductanța, legea lui Ohm se exprimă prin relația

$$U = \frac{i}{g} \qquad [V] \quad (2.2.27)$$

Relațiile (2.2.23) și (2.2.27), se mai folosesc sub formele

$$i = \frac{U}{r} = Ug; \quad r = \frac{U}{i}; \quad g = \frac{i}{U} \quad (2.2.28)$$

În cazul unei porțiuni a unui circuit filiform, în care este inclusă și o sursă (circuit activ; fig. 2.2.8), legea conducției electrice are următorul enunț: suma dintre tensiunea electrică luată în lungul unui conductor și t.e.m. care se află pe acest conductor, este egală cu produsul dintre intensitatea curentului prin conductor și rezistența lui

$$U_{12} + e = i \cdot r \quad (2.2.29)$$

sau pe ramura $a\ c$ a circuitului din figura 2.2.9[1],

$$u_{ca} + e_3 = i_3 r_3. \quad (2.2.30)$$

[1] Relația 2.2.30 este scrisă conform convenției de la receptoare, unde săgețile corespunzătoare mărimilor e, U și, i, pleacă din aceeași bornă a laturii. Dacă s-ar considera latura ca fiind generatoare, sensul căderii de tensiune se inversează și legea lui Ohm se scrie, conform convenției de la generatoare sub forma: $e_3 = U_{ca} + i_3 r_3$.

În cazul unui circuit electric închis care conţine o sursă de f.e.m. (fig.2.2.7), relaţia precedentă devine

$$e = u + u_i = i \cdot r_e + i \cdot r_i = i(r_e + r_i) = ir \qquad (2.2.31)$$

unde $u = r_e \cdot i$, este căderea de tensiune în circuitul exterior (pasiv), $u_i = r_i \cdot i$, este căderea de tensiune în interiorul sursei (porţiunea de circuit activă), iar $r = r_e + r_i$, este rezistenţa totală a circuitului.

Menţionăm că un element de circuit cu o anumită rezistenţă, se numeşte rezistor (simbolurile grafice sînt date în figura 2.2.11).

Rezistoarele pot avea valoare fixă sau variabilă.

2.2.12. **Legea transformării energiei în conductoare (legea Joule—Lenz). Putere. Energie.** Trecerea curentului de conducţie prin conductoare, determină transformarea energiei cîmpului electromagnetic (uzual: a energiei electrice) în energie de alte forme şi invers. Astfel, într-un conductor parcurs de curent, se dezvoltă căldură.

Presupunem un conductor neramificat, cu secţiunea constantă $ds_1 = ds_2 = ds_3$, prin care trece sarcina electrică dq, în intervalul de timp dt (fig. 2.2.1). Lucrul efectuat la transportul sarcinii, este

$$dA = u \cdot dq \qquad (2.2.32)$$

unde u este căderea de tensiune pe porţiunea $a\ b$ a conductorului străbătut de curentul i, rezistenţa şi conductanţa lui fiind r şi g.

Puterea necesară pentru a transporta sarcina dq prin conductor, egală cu energia în unitatea de timp

$$\left(\text{ţinînd seamă şi de relaţiile } u = r \cdot i\,; \quad r = \frac{1}{g}\,; \quad \frac{dg}{dt} = i\right),$$

este dată de relaţia

$$p = \frac{dA}{dt} = u\frac{dq}{dt} = u \cdot i = i^2 \cdot r = \frac{u^2}{r} = u^2 \cdot q \quad [\mathrm{W}] \qquad (2.2.33)$$

care exprimă *legea lui Joule — Lenz* (sub forma integrală), cu următorul enunţ: puterea totală cedată de cîmpul electromagnetic unei porţiuni de conductor filiform, în procesul de conducţie electrică, este egală cu produsul dintre intensitatea curentului şi tensiunea în lungul conductorului.

În cazul unui circuit închis neramificat (fig. 2.2.6), relaţia precedentă devine

$$p = \frac{dA}{dt} = e\frac{dg}{dt} = e \cdot i = i^2(r_e + r_i) = \frac{e^2}{r_e + r_i} \qquad (2.2.34)$$

în care e este f.e.m. din circuit, suma $(r_e + r_i)$ este rezistenţa totală a lui iar i curentul care îl străbate.

Unitatea de măsură a puterii este Wattul ($1\ \mathrm{W} = 1\ \mathrm{V} \times 1\ \mathrm{A}$), avînd ca submultiplii şi multiplii uzuali miliwattul ($1\ \mathrm{mW} = 10^{-3}\ \mathrm{W}$), kilowattul ($1\ \mathrm{kW} = 10^3\ \mathrm{W}$) şi megawattul ($1\mathrm{MW} = 10^6\ \mathrm{W}$).

Scanned with OKEN Scanner

Energia consumată într-un interval de timp $t = (t_2 - t_1)$, la trecerea curentului i printr-un conductor cu rezistența r, în lungul căruia apare tensiunea u, este:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p.\mathrm{d}t = p\,(t_2 - t_1) = pt = u \cdot i \cdot t = i^2 \cdot r \cdot t = \frac{u^2}{r} t \qquad [\mathrm{F}] \qquad (2.2.35)$$

Unitatea de măsură a energiei este Joulul (1J = 1 Watt × 1 secundă = = 1 Ws), cu următorii multipli uzuali : wattora (1 Wh = $3{,}6 \cdot 10^3$ J); kilowattora (1 kWh = 10^3 Wh); megawattora (1 MWh = 10^6 Wh).

La transformarea unei energii electrice de 1 J în energie calorică (prin încălzirea rezistenței străbătute de curentul electric), se obține o cantitate de căldură de 0,24 calorii mici. Deci, pentru a afla cantitatea totală de căldură obținută prin efect Joule — Lenz, în calorii mici, dezvoltată în timpul $t = t_2 - t_1$, se folosește relația

$$Q = 0{,}24\ i^2 \cdot r \cdot t = 0{,}24\ u \cdot i \cdot t = 0{,}24 \frac{u^2}{r} t = 0{,}24\ pt \quad [\mathrm{cal}] \qquad (2.2.36)$$

cu r în ohmi, i în amperi, t în secunde, u în volți și p în wați.

2.2.13. **Circuite filiforme liniare de curent continuu.** Un circuit este filiform atunci cînd dimensiunile sale transversale sînt suficient de mici, în raport cu lungimea sa (adică este suficient de subțire), pentru ca intensitatea curentului să se poată considera uniform repartizată pe secțiunile lui.

Un circuit de curent continuu (pasiv) este liniar, atunci cînd rezistența sa este constantă, independent de valorile curentului care trece prin el.

a) Asocierea sensurilor de referință în circuitul simplu de curent continuu. Se numește sens de referință (sau sens pozitiv convențional, sau sens de calcul) al unei mărimi fizice scalare, algebrice, definită prin fluxul unui vector $\left(\text{de exemplu curentul } i = \iint \bar{\delta} \cdot \mathrm{d}\bar{s}\right)$, sau prin integrala de linie a unui vector $\left(\text{de exemplu tensiunea } u = \int \bar{E} \cdot \bar{dl}\right)$ sensul ales pozitiv pentru efectuarea integralei respective (adică sensul vectorului $\mathrm{d}\bar{s}$ care reprezintă suprafața elementară $\mathrm{d}s$ sau al vectorului $\mathrm{d}l$ care reprezintă lungimea elementară $\mathrm{d}l$). Față de sensul de referință, mărimile algebrice scalare pot avea același sens (sînt pozitive) sau sens contrar (sînt negative). La scrierea relațiilor în electromagnetism, se folosește asocierea sensurilor care a fost utilizată și la enunțarea legilor. Dacă, însă, sensurile de referință a două mărimi sînt independente între ele, trebuie precizată convenția suplimentară folosită pentru scrierea unei relații între aceste mărimi.

Sensurile convenționale de referință adoptate într-un circuit de curent continuu închis, sînt indicate în figura 2.2.6. Tot din această figură, rezultă sensurile de referință în circuitul sursei (generatorului) și în circuitul exterior (al receptorului).

Scanned with OKEN Scanner

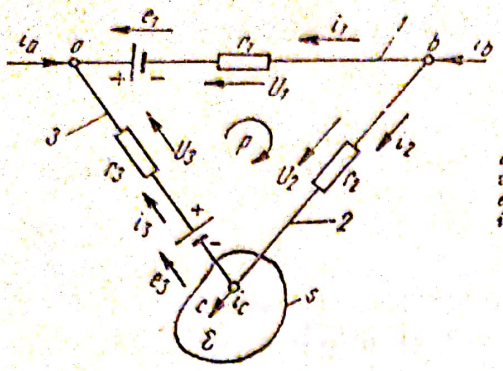


Fig. 2.2.9. Circuit electric:
a, b, c — noduri formate prin întîlnirea a cel puţin trei ramuri ale circuitului; *1, 2, 3* — ramuri cu r_1, r_2, r_3 (rezistenţe); e_1, e_3 — surse de t.e.m.; U_1, U_2, U_3 — căderi de tensiune; i_1, i_2, i_3 — curenţii în ramurile circuitului; *p* — sensul de parcurgere al circuitului.

b) Teorema întîi a lui Kirchhoff. Se consideră reţeaua electrică cu $n = 2$ noduri (puncte de ramificaţie) completă (sau izolată: care nu are borne de acces cu exteriorul), cu $r = 3$ ramuri, sau laturi (porţiuni neramificate mărginite de noduri) şi cu $O = 2$ ochiuri (succesiunile de laturi, constituind cîte o linie închisă), din figura 2.2.9. Calculul reţelei constă în determinarea intensităţilor curenţilor electrici care trec prin ramurile reţelei.

Cînd curenţii care circulă în ramurile circuitului sînt constanţi, cîmpul electric în dielectricul din jurul unui nod este constant, deci în dielectric nu există curenţi de deplasare, ci numai curenţi în mediul conductor al ramurilor. Considerînd nodul *A* cuprins într-o suprafaţă închisă *s*, conform principiului continuităţii curentului electric avem relaţia

$$\oint_s \bar{\delta}.\, d\bar{s} = \sum_1^n i_k = 0\,;\; -i_1 + i_2 + i_3 = 0 \qquad (2.2.37)$$

unde i_k sînt curenţii din ramurile a căror convergenţă formează nodul.

Această relaţie exprimă teorema întîi a lui Kirchhoff, cu următorul enunţ; suma algebrică a curenţilor din ramurile care se reunesc într-un nod este zero; convenţional, curenţii care ies din nod se consideră pozitivi, iar cei care intră în nod, negativi.

Prima teoremă a lui Kirchhoff, aplicată unei reţele cu două noduri, dă o singură ecuaţie distinctă.

Generalizînd, pentru o reţea completă cu *n* noduri, rezultă din prima teoremă a lui Kirchhoff

$$N_1 = (n - 1) \qquad (2.2.38)$$

ecuaţii independente, care diferă de celelalte ecuaţii cel puţin printr-un termen (în cazul acesta, un curent).

c) Teorema a doua a lui Kirchhoff. Se consideră un ochi al unei reţele cu trei ramuri: *ab, ca* — active, cu sursele e_1, e_3 şi rezistenţele r_1, r_3 (în care sînt incluse şi rezistenţele interioare ale surselor); *bc* — pasivă, cu rezistenţa r_2. Curenţii în ramuri sînt i_1, i_2, i_3, iar potenţialele în nodurile *a,b,c,* sînt u_a, u_b, u_c (figura 2.2.9). Datorită diferenţei de potenţial care există între două noduri, în ramura care le uneşte circulă un curent electric, la a cărui

trecere se produce o cădere de tensiune. Diferența de potențial între noduri, rezultă prin însumarea algebrică a tensiunii aplicate unei ramuri și a f.e.m. din ramura respectivă. Pentru scrierea relațiilor, se stabilesc următoarele reguli (convenție de sensuri) : se alege un sens de parcurgere a ochiului (sens de scriere a relațiilor ; sens de integrare), care se indică cu o săgeată încurbată ; se fixează, arbitrar, prin săgeți, sensurile pozitive ale curenților în ramurile ochiului (care coincid cu ale căderilor de tensiune pe ramuri) ; se indică, prin săgeți, sensurile pozitive ale f.e.m. (semnul f.e.m. a unei surse este pozitiv atunci cînd, urmînd sensul de parcurgere al ochiului, sursa este străbătută, în interior, de la polul negativ la polul pozitiv. Căderile de tensiune sînt pozitive cînd sensul curentului în ramură coincide cu sensul de parcurgere a ochiului. Cu aceste reguli, pentru fiecare ramură a circuitului se pot scrie următoarele relații :

$$u_a - u_b - e_1 = - i_1 r_1$$

$$u_b - u_c = i_2 r_2$$

$$u_c - u_a + e_3 = i_3 r_3$$

Adunînd cele trei relații, se obține

$$- e_1 + e_3 = - i_1 r_1 + i_2 r_2 + i_3 r_3$$

care se poate scrie sub forma generală

$$\sum_1^n e_k = \sum_1^n i_k r_k \qquad (2.2.39)$$

Această relație exprimă teorema a doua a lui Kirchhoff, aplicată unui ochi (p), cu următorul enunț : suma algebrică a f.e.m. ale surselor în lungul unui circuit, este egală cu suma algebrică a căderilor de tensiune din ramurile circuitului.

Numărul de ochiuri dintr-o rețea completă, independente (care să difere de alte ochiuri cel puțin printr-o ramură se mai numesc ochiuri fundamentale), pentru care se pot scrie ecuații independente, este, conform unei teoreme a lui Euler

$$N_2 = r - n + 1$$

Deci, în total, se pot scrie pentru o rețea

$$N = N_1 + N_2 = (n - 1) + (r - n + 1) = r \qquad (2.2.40)$$

ecuații independente, adică atîtea cîți curenți necunoscuți sînt în ramurile ei.

Dacă la rezolvarea ecuațiilor scrise pe baza teoremelor lui Kirchhoff, se obține un curent cu semn negativ într-o ramură a circuitului, înseamnă că sensul convențional ales pentru curent în ramura respectivă este opus sensului adevărat, deci trebuie schimbat în figură.

Scanned with OKEN Scanner

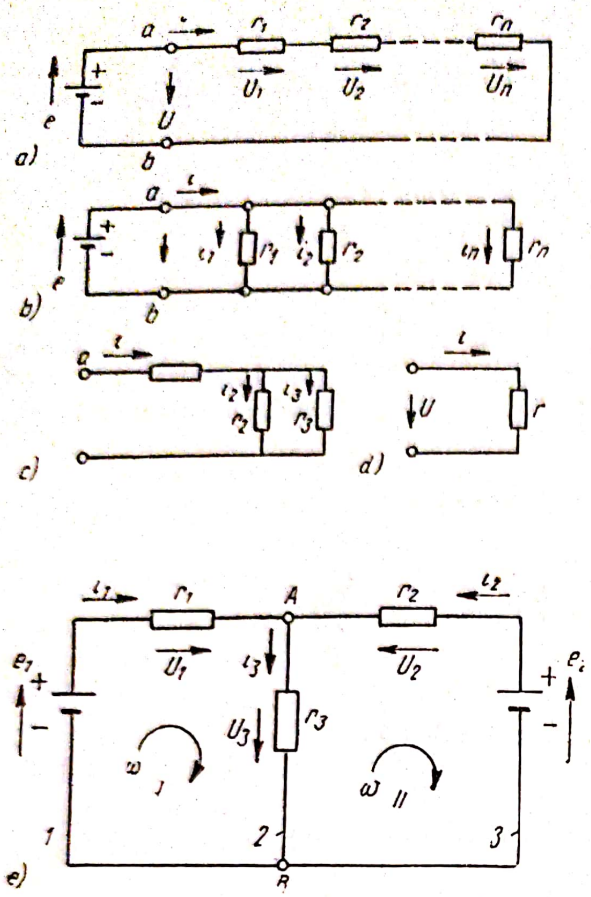


Fig. 2.2.10. Legarea rezistenţelor:
a — în serie; *b* — în paralel; *c* — în serie-paralel (mixtă); *d* — circuit electric complex; *1, 2, 3* — ramuri; *A, B* — noduri; e_1, e_2 — surse de f.e.m.; r_1, r_2, r_3 — rezistenţele ramurilor în care s-au inclus şi rezistenţele interioare ale surselor; ω — sensul de parcurgere al celor două ochiuri simple *I* şi *II*.

2.2.14. Teoremele rezistenţelor echivalente. Rezistenţa echivalentă între două borne ale unei reţele oarecare, funcţionînd în curent continuu, este, prin definiţie, raportul dintre tensiunea aplicată la bornele reţelei şi curentul absorbit de aceasta, considerate pozitive, după regula de asociere a sensurilor de la receptoare.

În cele ce urmează, se studiază trei cazuri particulare:

a) Rezistoare în serie (fig. 2.2.10.*a*). În acest caz, toate rezistoarele sînt străbătute de acelaşi curent i (absorbit de la o singură sursă e); luînd în considerare căderile de tensiune $U_1 = i \cdot r_1$; $U_2 = i \cdot r_2$; $U_n = i \cdot r_n$, avem:

$$U = U_1 + U_2 + \dots U_n = i \cdot r_1 + i \cdot r_2 \dots i \cdot r_n = i(r_1 + r_2 + \dots + r_n) \tag{2.2.41}$$

de unde se deduce valoarea rezistenţei echivalente r

$$r = r_1 + r_2 + \dots r_n; \qquad r = \sum_1^n r_k \tag{2.2.42}$$

ca fiind egală cu suma rezistenţelor legate în serie.

b) Rezistoare în paralel (în derivaţie; fig. 2.2.10.*b*).

În acest caz, la bornele rezistoarelor se aplică aceeaşi tensiune (de la o singură sursă e).

Aplicînd teorema întîi a lui Kirchhoff, şi ţinînd seama de relaţiile

$$i_1 = \frac{U}{r_1},\ i_2 = \frac{U}{r_2},\ i_n = \frac{U}{r_n} \text{ şi } g_1 = \frac{1}{r_1},\ q_2 = \frac{1}{r_2},\ g_n = \frac{1}{r_n}$$

avem

$$i = i_1 + i_2 + \dots i_n = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \dots \frac{U}{r_n} = U\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots \frac{1}{r_n}\right); \tag{2.2.43}$$

$$i = U(g_1 + g_2 + g_n)$$

generalizînd, se obţin relaţiile

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots \frac{1}{r_n} = \sum_1^n \frac{1}{r_k};\ g = g_1 + g_2 + \dots g_n = \sum_1^n g_k \tag{2.2.44}$$

Scanned with OKEN Scanner

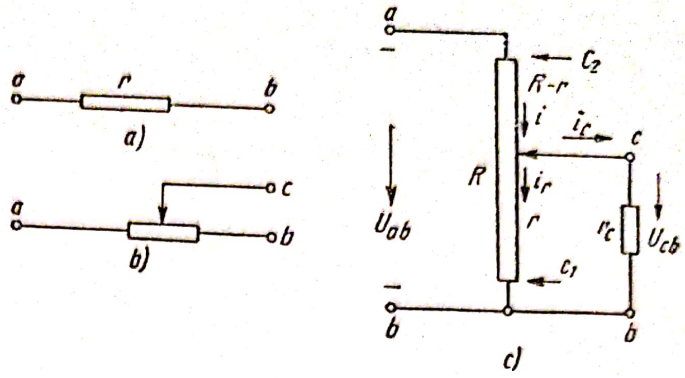


Fig. 2.2.11.

a — rezistență fixă; *b* — rezistență variabilă; *c* — potențiometru; r_c — receptor (consumator); c_1 — poziția cursorului corespunzătoare valorii $U_{cb} = 0$; C_2 — poziția corespunzătoare valorii $U_{cb} - U_{ab}$.

Valoarea inversă a valorii rezistenței echivalente a n rezistențe în paralel, este egală cu suma inverselor acestor rezistențe sau valoarea conductanței echivalente, este egală cu suma celor n conductanțe.

c) Rezistoare legate în serie — paralel

În acest caz, rezistența echivalentă se determină cu ajutorul relațiilor stabilite de legările în serie și în paralel. Ca exemplu, se dă potențiometrul (fig. 2.2.11. *c*).

Pentru determinarea tensiunii u_{cb} care se aplică rezistorului r_c, se stabilește mai întîi valoarea rezistenței echivalente între bornele *a b*:

$$R_e = \frac{r \cdot r_c}{r + r_c} + (R - r) = \frac{R(r + r_c) - r^2}{r + r_c}$$

Căderile de tensiune fiind proporționale cu rezistențele în lungul cărora apar, avem

$$\frac{U_{cb}}{u_{ab}} = \frac{\frac{r \cdot r_c}{r + r_c}}{R_e} = \frac{r \cdot r_c}{R(r + r_c) - r^2}$$

de unde rezultă tensiunea (variabilă între zero și u_{ab}):

$$u_{cb} = u_{ab} \cdot \frac{r \cdot r_c}{R(r + r_c) - r^2} \qquad (2.2.45)$$

2.2.15. Circuite electrice complexe. Circuitele electrice care nu se pot reduce la o legare în serie, paralel, sau mixtă, se numesc circuite complexe. Problema care se pune la rezolvarea lor, constă fie în a determina curenții în ramuri, cunoscînd f.e.m. și parametrii ramurilor, fie în a determina parametrii, cunoscînd curenții în ramuri și f.e.m., fie o combinație a celor două cazuri anterioare.

Dintre multiplele metode de rezolvare, se va da un exemplu de rezolvare cu ajutorul teoremelor lui Kirchhoff (fig. 2.2.10.*d*).

Notînd cu n numărul de noduri și cu r numărul de ramuri a circuitului pe baza teoremei întîi a lui Kirchhoff se pot scrie un număr de $N_1 = (n-1)$ ecuații independente (care să difere între ele), iar pe baza teoremei a doua a lui Kirchhoff, un număr de $N_2 = (r - n + 1)$ eucații independente.

Scanned with OKEN Scanner

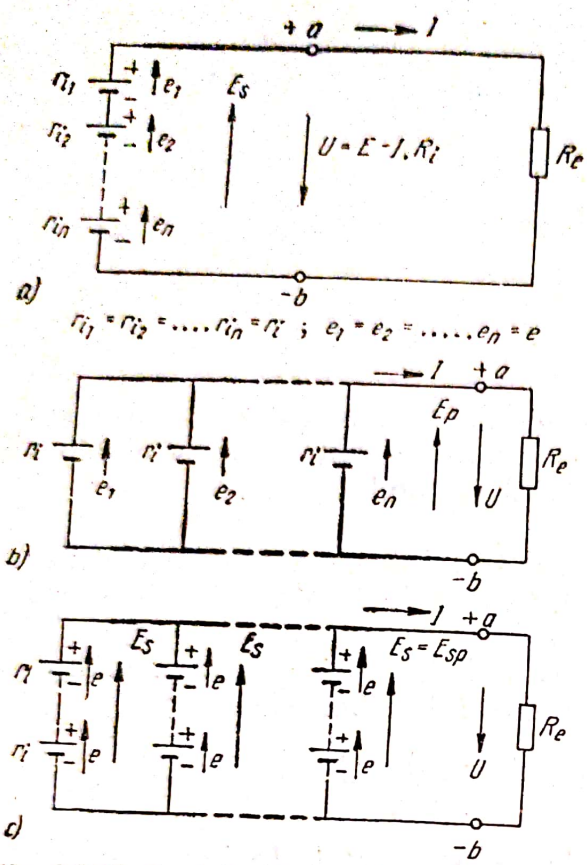


Fig. 2.2.12. Legările elementelor galvanice: *a* — în serie; *b* — în paralel; *c* — mixtă.

Numărul de ecuaţii independente, $N = N_1 + N_2 = r$, permite să se determine în circuit un număr de r necunoscute. În cazul figurii (2.2.10.*d*), avem:

$$N_1 = 2 - 1 = 1\,; \quad N_2 = 3 - 2 + 1 = 2\,;$$
$$N = 1 + 2 = 3\,;$$

deci se pot scrie următoarele trei ecuaţii, cu ajutorul cărora se pot determina trei elemente necunoscute în circuit:

$$-i_1 - i_2 + i_3 = 0\,; \; e_1 = i_1 r_1 + i_3 r_3\,;$$
$$-e_2 = -i_2 r_2 - i_3 r_3. \quad (2.2.46)$$

2.2.16. **Legările elementelor galvanice şi ale acumulatoarelor.** Legările elementelor galvanice şi ale acumulatoarelor, se folosesc pentru obţinerea unor baterii de elemente, care pot furniza o f. e. m. sau un curent, mai mare decît un singur element.

La gruparea în serie (fig. 2.2.12. *a*), în ipoteză că f.e.m. e şi rezistenţa interioară r_i a elementelor, sînt aceleaşi, f.e.m. E_s a bateriei (compusă din n elemente, în serie), rezistenţa ei interioară R_i şi curentul în circuit, sînt date de relaţiile:

$$E_s = \Sigma e_i = n \cdot e \; [\mathrm{V}]\,; \quad R_i = \Sigma r_i = n \cdot r_i \; [\Omega] \quad (2.2.47)$$

$$I = \frac{E_s}{R_i + R_e} = \frac{n \cdot e}{n r_i + R_e} = \frac{e}{r_i + \frac{R_e}{m}} \quad [\mathrm{A}]$$

La gruparea în paralel (fig. 2.2.12. *b*), aceleaşi mărimi sînt date de relaţiile:

$$E_p = e \; [\mathrm{V}]\,; \quad R_i = \frac{r_i}{n} \quad [\Omega] \quad (2.2.48)$$

$$I = \frac{E_p}{R_i + R_e} = \frac{e}{\frac{r_i}{n} + R_e} = \frac{n \cdot e}{r_i + n R_e} \quad [\mathrm{A}]$$

La gruparea mixtă (*serie paralel*), care se obține legînd în paralel p ramuri, fiecare ramură fiind formată din s elemente legate în serie (fig. 2.2.12. *c*) avem relațiile:

$$E_{sp} = E_s = s \cdot e \ [\mathrm{V}]; \qquad R_i = \frac{r_s}{p} = \frac{s \cdot r_i}{p} \qquad [\Omega]$$

$$I = \frac{E_{sp}}{R_i + R_e} = \frac{s \cdot e}{\frac{s \cdot r_i}{p} + R_e} = \frac{e}{\frac{r_i}{p} + \frac{R_e}{e}} \qquad [\mathrm{A}] \qquad (2.2.49)$$

2.3. ELECTRODINAMICA

2.3.1. Cîmpul magnetic și explorarea lui în vid. Inducția magnetică. Cîmpul magnetic este unul din cele două aspecte ale cîmpului electromagnetic care se manifestă prin apariția unor forțe de natură electromagnetică, ce acționează asupra conductoarelor parcurse de curent electric, introduse, în anumite condiții, în cîmp, sau prin apariția unor t.e.m. în conductoarele care se deplasează, în anumite condiții, în cîmp.

Precizăm că semnificația fundamentală a noțiunii de cîmp magnetic este sistemul fizic, diferit de corpuri, care există în jurul și în interiorul conductoarelor parcurse de curent și ale corpurilor magnetizate. În electrotehnică cîmpul magnetic are și altă semnificație: mulțimea de valori a mărimii vectoriale de stare numită intensitatea cîmpului magnetic $\bar{H}$ (vezi par. 2.3.3).

În cîmpul magnetic este acumulată o energie, care în anumite condiții, poate fi transformată în lucru mecanic.

În jurul unui conductor parcurs de curent electric apare un cîmp magnetic, a cărui reprezentare grafică se face cu ajutorul liniilor cîmpului magnetic (sau linii de forță), care sînt închise și se trasează astfel încît tangenta T la linie într-un punct al spațiului, să coincidă, ca direcție și sens, cu cîmpul B în acel punct (fig.2.3.1).

Pentru explorarea cîmpului magnetic (notat de obicei cu simbolul B), se folosește o bobină de explorare (buclă de curent), executată dintr-un conductor foarte subțire, închisă, parcurs de un curent electric i, avînd aria S, în cazul unei spire, sau w. S, în cazul a w spire (fig. 2.3.2). Bo-

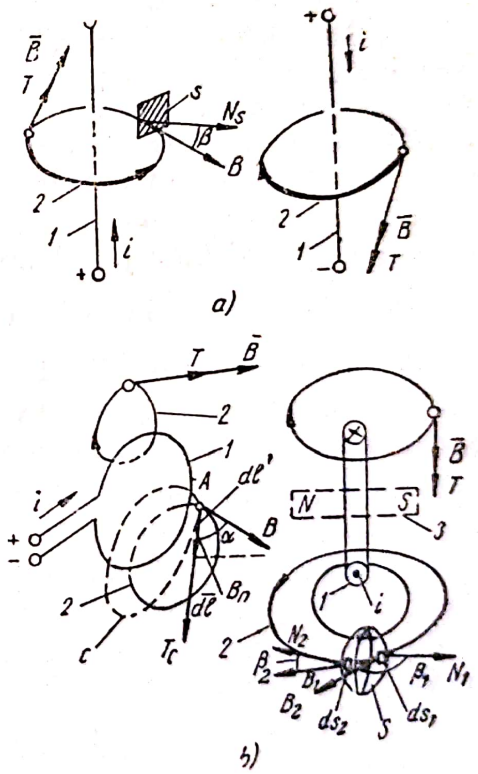


Fig. 2.3.1. Cîmpul magnetic al unui conductor parcurs de curent electric: *a* – liniar; *b* – circular (similar cu cîmpul unui magnet permanent N, S); *1* – conductor; *2* – linie de forță; T – tangenta la linia cîmpului în punctul a; T_c – tangenta la conturul de integrare *c*; $\bar{B}$ – inducția magnetică; *s* – suprafață străbătută de liniile cîmpului magnetic; N_s – normală la suprafața *s*; S – suprafață închisă.

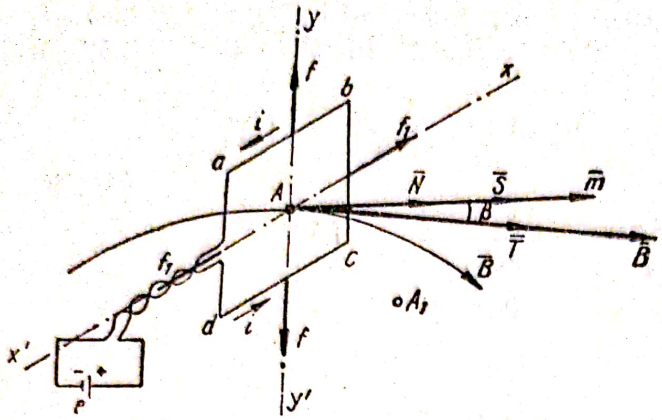


Fig. 2.3.2. Bobină de explorare în cîmpul magnetic.

bina este situată astfel încît centrul ei coincide cu un punct A, în care cîmpul are o anumită valoare. Sensul normalei $\bar{N}$ la arie, este asociat cu sensul curentului prin regula burghiului drept (sensul de răsucire a burghiului drept care înaintează în sensul curentului i) Vectorul — arie $\bar{S}$ (sau $w\bar{S}$), este dirijat în sensul normalei, peste care se suprapune. Normala formează unghiul β cu tangenta pozitivă T la linia cîmpului, în punctul A dirijată în sensul cîmpului, peste care se suprapune vectorul inducţiei $\bar{B}$ (suprafaţa S, limitată de conturul spirei, este suficient de mică pentru a se putea considera cîmpul uniform pe aria ei).

Bucla de curent se caracterizează prin vectorul $\bar{m}$, numit momentul buclei, perpendicular pe planul buclei, definit prin relaţia

$$\bar{m} = i \cdot \bar{A} \text{ sau } \bar{m} = i \cdot w\,\bar{A} \quad [\text{Am}^2] \tag{2.3.1}$$

avînd ca unitate de măsură amper-metrul pătrat (Am^2).

Considerînd bucla situată în vid (practic în aer), se constată experimental că asupra ei se execută acţiuni mecanice, în cazul acesta forţa $\bar{f}$, perpendiculare pe planul format de fiecare latură şi de cîmp. Forţele $\bar{f}$, care se exercită asupra laturilor a, b, c d, dau un moment care poate produce rotirea spirei în jurul axei xx'. Forţele $\bar{f}_1$, exercitate pe laturile ad, bc, nu dau moment, fiind paralele cu axa de rotaţie.

Momentul static al forţelor ce se exercită asupra buclei de curent situată în vid, în raport cu centrul ei de masă, este un cuplu $\bar{C}$

$$|\bar{C}| = |\bar{m} \times \bar{B}| = m \cdot B \sin \beta \tag{2.3.2}$$

egal cu produsul vectorial dintre momentul magnetic al buclei $\bar{m}$, şi o mărime vectorială de stare a cîmpului $\bar{B}$, numită inducţia magnetică în vid, care caracterizează starea locală (în punctul considerat A) a cîmpului magnetic în vid[1]). Cuplul tinde să rotească bucla astfel încît momentul magnetic al buclei să fie paralel cu direcţia locală a inducţiei magnetice în vid,

[1] Vectorul inducţiei magnetică în vid $\bar{B}$ (notat de obicei cu $\bar{B}_v$) este o mărime primitivă a cîmpului electromagnetic, care caracterizează starea locală a acestui cîmp în vid.

(suprafața limitată de conturul buclei să fie perpendiculară pe cîmpul B). Cuplul este maxim pentru $\beta = 90°$ și minim pentru $\beta = 0°$.

Menținînd condițiile de experimentare expuse (S, β, i), și repetînd experiența într-un punct A', unde cîmpul este diferit de cîmpul din punctul A, se obține o altă valoare pentru cuplu.

Forțele pe care cîmpul magnetic le exercită asupra unor circuite parcurse de curenți electrici sau asupra altor corpuri magnetizate situate în cîmp, se pot împărți în trei categorii, după cauzele fizice ale cîmpului magnetic care le exercită: forțe electromagnetice care se exercită între un circuit parcurs de curent electric și un corp magnetizat; forțe electrodinamice, care se exercită între circuite parcurse de curenți; forțe magnetostatice, care se exercită între magneți permanenți (polii de același nume se resping, iar cei de nume contrar se atrag).

2.3.2. **Forța electromagnetică. Fluxul magnetic.** Se consideră un conductor cu lungimea l', străbătut de curentul electric i, situat în cîmpul magnetic uniform B (fig. 2.3.3. *a*). Lungimea activă a conductorului, asupra căreia se exercită acțiunea ponderomotoare a cîmpului magnetic, este

$$l = l' \cos \cdot \beta \qquad (2.3.3)$$

unde β este unghiul format de direcția conductorului $n_1 n_1'$ și de normala la cîmp $n\,n'$.

Se constată experimental că asupra conductorului, cîmpul magnetic exercită o forță electromagnetică $\bar{f}$ (forța lui Laplace), dată de expresia

$$|\bar{f}| = |i \cdot \bar{l} \times \bar{B}| = i \cdot l \cdot B \sin \sphericalangle(\bar{l}, \bar{B}) = ilB \sin 90° = il' \cos \beta \cdot B \ [\mathrm{N}] \qquad (2.3.4)$$

care poate deplasa conductorul în sensul ei cu o vizetă v.

Sensul forței electromagnetice (același cu al vitezei v), se determină cu regula mîinii stîngi: mîna stîngă se ține astfel încît liniile cîmpului să intre în palmă; palma fiind îndreptată în sensul curentului, degetul mare, rotit la 90°, indică sensul forței electromagnetice.

Sensurile lui $\bar{f}, \bar{l}, \bar{B}$, sînt legate între ele prin regula triedrului (fig. 2.3.3. b): sensul curentului în conductor este dat de sensul produsului vectorial $\bar{l} \times \bar{B}$ (efectuat în sensul de rotire al burghiului drept, indicat de săgeată).

Considerînd unghiul $\beta = 0$ (pentru simplificare) din relația precedentă rezultă valoarea inducției magnetice și unitatea ei de măsură, care, în SI, este weber pe metru pătrat ($\mathrm{Wb/m^2}$) sau tesla (Te),

$$B = \frac{f}{li}\ [\mathrm{Te}];\ [\mathrm{Te}] = \left[\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mA}}\right] = \left[\frac{\mathrm{T}}{\mathrm{m^2\,A}}\right] = \left[\frac{\mathrm{VAs}}{\mathrm{m^2\,A}}\right] = \left[\frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{m^2}}\right] = \left[\frac{\mathrm{Wb}}{\mathrm{m^2}}\right] \qquad (2.3.5)$$

iar în CGS em este gaussul ($1\ \mathrm{Gs} = 10^{-4}\ \mathrm{Te}$).

La deplasarea conductorului (datorită forței electromagnerice f) pe distanța $\mathrm{d}x$, aceasta descrie suprafața $\mathrm{d}s' = l \cos \beta \cdot \mathrm{d}x = \mathrm{d}s \cos \beta$.
Lucrul mecanic efectuat la această deplasare este

$$\mathrm{d}A = f \cdot \mathrm{d}x = B \cdot i \cdot l \cdot \cos \beta \cdot \mathrm{d}x = i \cdot B \cdot \mathrm{d}s \cos \beta = i \cdot \bar{B} \cdot \bar{\mathrm{d}}s \qquad (2.3.6)$$

Scanned with OKEN Scanner

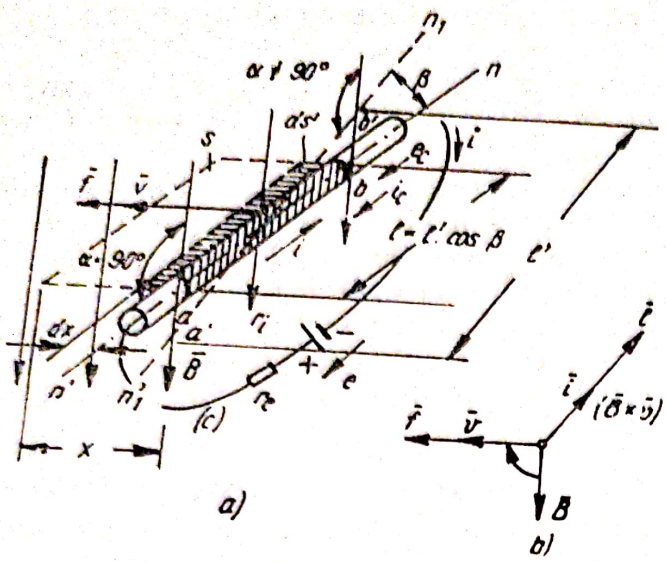


Fig. 2.3.3. Conductor străbătut de curentul electric i, situat în cîmpul magnetic $\bar{B}$:

$a\ b$ — lungimea activă l a conductorului (cuprinsă în cîmp); nn' — conductor perpendicular pe cîmp ($\alpha = 90°$); $n_1n'_1$ — conductor înclinat ($\alpha \neq 90°$); s — suprafaţa descrisă de lungimea activă a conductorului l; a — reprezentare în perspectivă; b — reprezentare în plan; v — viteza de mişcare a conductorului; 1 — conductor în care curentul este dirijat spre planul hîrtiei; 2 — conductor în care curentul este dirijat dinspre planul hîrtiei; p_s — palma mîinii stîngi; dx — deplasare elementară a conductorului.

iar mărimea

$$d\Phi_n = B \cdot ds \cdot \cos\beta = \bar{B} \cdot \bar{d}s = \frac{dA}{i} \qquad [Wb] \qquad (2.3.7)$$

este componenta normală a fluxului magnetic prin suprafaţa ds.

Lucrul mecanic efectuat la deplasarea conductorului pe distanţa x, cînd el descrie suprafaţa s, este

$$A = i \int_s B\, ds \cos\beta = i \int_s \bar{B} \cdot \bar{d}s = i \int_s d\Phi_n \quad [I] \qquad (2.3.8)$$

Dacă inducţia este uniformă pe întreaga suprafaţă, iar aceasta este perpendiculară pe cîmp ($\beta = 0$), se poate efectua integrarea şi se obţine

$$A = i \cdot B \cdot s = i \cdot \Phi \quad [I] \qquad (2.3.9)$$

unde produsul dintre inducţia magnetică şi suprafaţă este fluxul vectorului inducţiei magnetice prin suprafaţa s, sau pe scurt, fluxul magnetic, avînd ca unitate de măsură în SI, weberul (Wb):

$$\Phi = \frac{A}{i} = B \cdot s \qquad [Wb] \qquad (2.3.10)$$

Se vede că fluxul magnetic poate fi exprimat şi prin raportul dintre lucrul mecanic efectuat de forţele cîmpului magnetic, la deplasarea conductorului cu lungimea l, pe distanţa x, străbătut de curentul i, perpendicular pe liniile cîmpului magnetic.

În sistemul CGS em unitatea de măsură a fluxului magnetic este maxwellul ($1Mx = 1\ Gs \times 1\ cm^2 = 10^{-8}Wb$).

Consideraţiile precedente sînt valabile şi în cazul unei suprafeţe s, limitată de un contur, străbătută de un flux magnetic (fig. 2.3.4).

În cazul general al unui cîmp neuniform, inducția pe o suprafață elementară ds, pe care se consideră constantă, este dată de raportul dintre fluxul elementar $d\Phi$, perpendicular pe suprafață, și aria suprafeței elementare

$$B = \frac{d\Phi}{ds} \qquad [Te] \qquad (2.3.11)$$

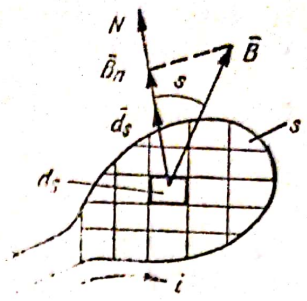


Fig. 2.3.4. Fluxul magnetic printr-o suprafață limitată de un contur.

Principiul continuității fluxului magnetic, exprimat matematic prin relația (cunoscută în literatură sub denumirea de „legea fluxului magnetic"),

$$\oint_s \bar{B} \cdot \bar{ds} = 0, \qquad (2.3.12)$$

arată că liniile cîmpului magnetic fiind linii închise, fluxul magnetic care trece printr-o suprafață închisă S (fig. 2.3.1. b), este zero $\left(\iint_{s_1} \bar{B}_1 \cdot \overline{ds_1} = \int_{s_2} \bar{B}_2 \cdot \bar{ds}_2\right)$. Rezultă că în interiorul suprafeței, nu pot avea loc pierderi sau acumulări de flux magnetic.

Fluxul magnetic total (sau fluxul de înlănțuire), este fluxul care străbate o suprafață delimitată de un contur oarecare. În cazul unei înfășurări (fig. 2.3.10), neglijînd fluxul Φ_0, prin suprafața s_0 formată de conductorii de alimentare a bobinei cu energie electrică, precum și fluxul Φ_s (fluxul de scăpări, de dispersie), care înlănțuie numai o parte din spire, fluxul total este dat de produsul dintre numărul de spire W și fluxul Φ al unei spire

$$\psi = W \cdot \Phi \qquad (2.3.13)$$

2.3.3. **Legătura dintre cîmpul magnetic și curentul electric.** Se constată experimental, că integrala de linie a vectorului inducției magnetice de-a lungul unui contur de integrare c (fig. 2. 3. 1b), independent de forma conturului, este proporțională cu curentul din circuit, factorul de proporționalitate fiind funcție de mediul în care există cîmpul magnetic, conform relațiilor

$$\oint_c B \cdot dl \cdot \cos\alpha = \oint_c \bar{B} \cdot d\bar{l} = \mu_0 i \qquad (2.3.14)$$

(în vid sau aer), sau

$$\oint_c \bar{B} \cdot \overline{dl} = \mu \cdot i \qquad (2.3.15)$$

(într-o substanță oarecare ; ultima relație, este cunoscută sub denumirea de formula lui Ampère).

În ambele relații se face integrarea produsului scalar, dintre lungimea elementară de contur dl și componenta B. cos α, ambele dirijate după tangenta pozitivă T_c la conturul de integrare în punctul considerat A.

Mărimea care caracterizează proprietăţile magnetice ale mediului în care se formează cîmpul magnetic, se numeşte permeabilitate magnetică.

Permeabilitatea absolută a spaţiului vid (şi a aerului), avînd în SI ca unitate henry pe metru (H/m), are valoarea

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \qquad \left[\frac{\mathrm{H}}{\mathrm{m}}\right] \tag{2.3.16}$$

Permeabilitatea absolută a unui mediu oarecare este μ, între aceasta şi μ_0 existînd relaţia :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \; ; \; \mu = \mu_0 \cdot \mu_r = \mu_r \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \qquad \left[\frac{\mathrm{H}}{\mathrm{m}}\right] \tag{2.3.17}$$

Permeabilitatea relativă μ_r, care este o mărime de material adimensională, este egală cu raportul dintre permeabilităţile magnetice absolute ale unui corp oarecare şi a vidului.

Cu ajutorul permeabilităţii magnetice şi al inducţiei magnetice B_0, μ_0, în vid, sau B, μ, în substanţă, se defineşte *intensitatea cîmpului magnetic* H, în vid

$$H = \frac{B_0}{\mu_0} \qquad \left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}}\right] \tag{2.3.18}$$

sau în substanţă

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} \qquad \left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}}\right] \tag{2.3.19}$$

astfel că inducţia în vid sau în substanţă, este dată de relaţiile ;

$$B_0 = \mu_0 H \; ; \; B = \mu H = \mu_0 \cdot \mu_r H. \tag{2.3.20}$$

2.3.4. **Forţa electrodinamică dintre două conductoare paralele.** Se consideră două conductoare situate în vid (aer), parcurse de curenţii i_1 şi i_2, paralele între ele pe lungimea l, distanţa a dintre ele fiind mică în raport cu lungimea lor (fig. 2.3.5).

Se constată, experimental, că între cele două conductoare apare o forţă (numită electrodinamică), de atracţie, cînd sensurile curenţilor în conductoare sînt aceleaşi, sau de respingere, cînd sensurile lor sînt opuse.

Forţa electrodinamică este un caz particular al forţei electromagnetice : cîmpul B, produs de curentul i_1, acţionează asupra conductorului parcurs de curentul i_2 introdus în cîmp (şi invers).

Pe baza relaţiei (2.3.14), ţinînd seama că, în acest caz, contururile de integrare c sînt cercuri cu raza a, se află

$$\int_l \bar{B}_1 \cdot \mathrm{d}\bar{l} = B_1 \cdot 2\pi a = \mu_0 \cdot i_1 \tag{2.3.21}$$

$$\int_l \bar{B}_2 \cdot \mathrm{d}\bar{l} = B_2 \cdot 2\pi \cdot a = \mu_0 i_2 \tag{2.3.22}$$

Scanned with OKEN Scanner

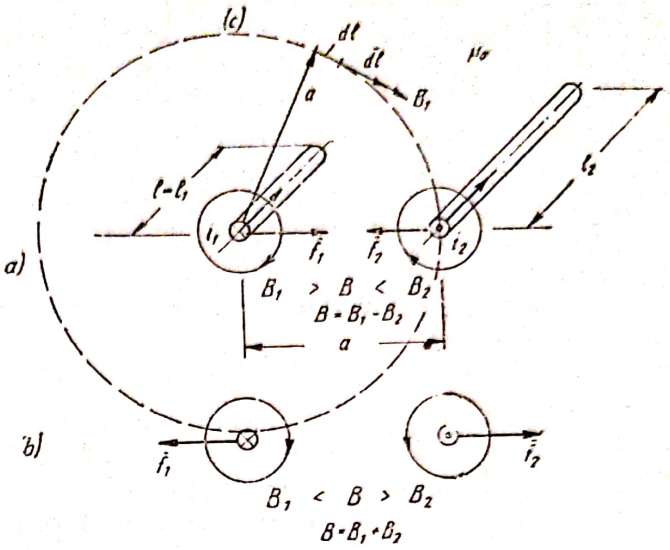


Fig. 2.3.5. Conductoare paralele parcurse de curenți:
a — în același sens; *b* — în sens contrar.

Valorile inducției magnetice la distanța a de fiecare conductor, sînt

$$B_1 = \mu_0 \frac{i_1}{2\pi \cdot a}; \quad B_2 = \mu_1 \frac{i_2}{2\pi \cdot a}. \tag{2.3.23}$$

Forțele pe care cîmpul fiecărui conductor le exercită asupra celuilalt conductor, deduse pe baza relației (2.3.4), sînt

$$f_1 = B_2 \cdot i_1 \cdot l = \mu_0 \cdot i_2 i_1 \frac{l}{2\pi \cdot a}; \quad f_2 = B_1 \cdot i_2 \cdot l = \mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{l}{2\pi \cdot a} \tag{2.3.24}$$

Cele două forțe sînt egale între ele ($f_1 = f_2 = f$), iar cînd cei doi curenți sînt egali ($i_1 = i_2 = i$), avem

$$f = \mu_0 \frac{i^2}{2\pi \cdot a} \cdot l \quad [\mathrm{N}] \tag{2.3.25}$$

Din relația (2.3.23), se determină intensitatea cîmpului fiecărui conductor în vid (în aer), la distanța a de axa lui:

$$H_1 = \frac{B_1}{\mu_0} = \frac{i_1}{2\pi \cdot a}; \quad H_2 = \frac{B_2}{\mu_0} = \frac{i_2}{2\pi \cdot a}. \tag{2.3.26}$$

2.3.5. Magnetizarea corpurilor. Magnetizarea substanței se explică prin existența în substanță a unor curenți elementari (moleculari) orientați în același sens (în mod natural, sau sub acțiunea unui cîmp magnetic exterior), a căror cîmpuri magnetice se însumează vectorial dînd un cîmp magnetic rezultant. Magneții permanenți naturali (magnetita; Fe_2O_3), au un număr de curenți elementari, orientați în mod natural.

Un corp se găsește în stare de magnetizație dacă este supus unor acțiuni ponderomotoare, atunci cînd este situat într-un cîmp magnetic B_0 (cîmp de magnetizare; cîmp exterior), chiar dacă nu este parcurs de curent electric

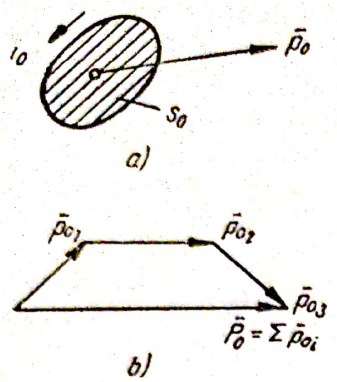


Fig. 2.3.6.

a — momentul magnetic al unui curent elementar; *b* — suma geometrică a momentelor elementare; P_0 — suma geometrică a momentelor magnetice dintr-un volum V al substanţei

(de exemplu acul magnetic). Dacă B_0 este uniform, asupra corpului acţionează un cuplu; dacă B_0 este neuniform, acţionează un cuplu şi o forţă.

Stările de magnetizaţie ale corpurilor pot fi permanente, cînd nu depind de inducţia magnetică exterioară $\bar{B}_0$, sau temporare, cînd depind de inducţia magnetică exterioară $\bar{B}_0$, (corpuri permanent magnetice sau temporar magnetice).

Considerînd suprafaţa s_0 limitată de conturul parcurs de un curent elementar i_0, produsul

$$\bar{p}_0 = i_0 \cdot \bar{s}_0 \ [\text{A m}^2] \qquad (2.3.27)$$

se numeşte moment magnetic, acesta este o mărime vectorială, sensul său fiind legat de sensul curentului prin regula burghiului drept: rotind burghiul în sensul curentului i_0, acesta înaintează în sensul momnetului p_0 (fig. 2.3.6).

În cazul general, momentul magnetic poate avea o componentă permanentă p_{op} (independentă de cîmpul exterior $\bar{B}_0$) şi una temporară p_{ot} (dependentă de $\bar{B}_0$ şi anulîndu-se o dată cu aceasta):

$$\bar{p}_0 = \bar{p}_{op} + \bar{p}_{ot} \qquad (2.3.28)$$

În cazul unui corp magnetizat de dimensiuni mai mari, momentul lui magnetic se defineşte ca suma momentelor Δ_{po} ale părţilor lui elementare Δv: $p_0 = \Sigma \Delta p_0$

Limita $\bar{J}$ a raportului dintre $\Delta \bar{p}_0$ şi volumul Δv corespunzător, cînd acest volum tinde către zero, se numeşte magnetizaţie:

$$\bar{J} = \lim_{\Delta v \to 0} \cdot \frac{\Delta \bar{p}_0}{\Delta v} = \frac{\mathrm{d}\bar{p}_0}{\mathrm{d}v} \qquad (2.3.29)$$

Mărimea $\bar{J}$ se mai numeşte intensitatea de magnetizare şi este, deci, densitatea de volum a momentelor magnetice (sau momentul magnetic al unităţii de volum); are ca unitate de măsură în SI amper pe metru (A/m).

În funcţie de magnetizaţie, momentul magnetic $\bar{p}_0$ al unui corp se exprimă prin relaţia

$$\bar{p}_0 = \int_v v \, \bar{J} \, \mathrm{d}v. \qquad (2.3.30)$$

Considerînd fenomenele macroscopic, dacă orientările momentelor magnetice elementare sînt distribuite dezordonat, magnetizaţia macroscopică este zero. Dacă aceste momente capătă o componentă ordonată (de exemplu, sub acţiunea unui cîmp exterior), corpul se magnetizează. Experimen-

Scanned with OKEN Scanner

tal se constată că magnetizația temporară este proporțională cu intensitatea cîmpului magnetic exterior B_0 (sau H)

$$\bar{J}_t = \chi_m \cdot \bar{H} \tag{2.3.31}$$

unde χ_m este susceptivitatea magnetică, a cărei valori pot fi pozitive sau negative.

Relația (2.3.31) exprimă *legea magnetizației temporare,* valabilă pentru materiale izotrope și liniare fără magnetizație permanentă, conform căreia magnetizația temporară este proporțională cu intensitatea cîmpului magnetic care o determină.

De obicei, legea se folosește sub o altă formă, combinată cu legea legăturii între $\bar{B}$, $\bar{H}$, și $\bar{J}$:

$$\bar{B} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{J}) \tag{2.3.32}$$

astfel că avem

$$\bar{B} = \mu_0 (\bar{H} + \chi_m \bar{H}) = \mu_0 (1 + \chi_m) \bar{H} = \mu \bar{H}. \tag{2.3.33}$$

Mărimea

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi_m) = \mu_0 \mu_r = \frac{B}{H} \tag{2.3.34}$$

este permeabilitatea (magnetică) absolută a substanței, iar μ_r este permeabilitatea (magnetică) relativă a sa.

Materialele magnetizabile numite temporar, se împart, din punctul de vedere al proprietăților lor magnetice, în două categorii:

— *materiale diamagnetice*, pentru care $\chi_m < 0$. Moleculele acestor substanțe nu au inițial moment magnetic (molecule nepolare). Ele capătă, printr-un fenomen de inducție electromagnetică, un moment magnetic (cînd sînt aduse într-un cîmp magnetic) de sens opus cîmpului exterior (fig. 2.3.7, b; cîmpul propriu al substanței B_i, este opus cîmpului exterior B_0, cîmpul lor rezultant fiind $B = B_0 - B_i < B_0$);

— *materiale paramagnetice*, pentru care $\chi_m > 0$. Moleculele acestor substanțe au un moment magnetic propriu spontan (molecule polare), dar din cauza orientării dezordonate, momentul magnetic total este zero. La introducerea substanței într-un cîmp magnetic exterior, momentele elementare se orientează astfel, încît momentul rezultant să devină paralel cu cîmpul exterior, avînd același sens cu el (fig. 2.3.7.a; cîmpul propriu B_i are același sens cu B_0, cîmpul lor rezultant fiind $B = B_0 + B_i > B_0$); Acestei așezări ordonate i se opune agitația termică, astfel că susceptivitatea este dependentă de temperatură.

$$\chi_m = \frac{\text{const}}{T}.$$

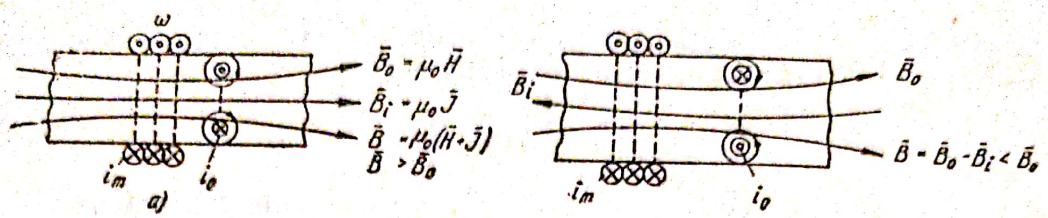


Fig. 2.3.7. Cîmpul magnetic rezultant:

a — în substanţe paramagnetice şi feromagnetice; *b* — în substanţe diamagnetice; — numărul de spire al bobinei de magnetizare; i_m — curentul de magnetizare; i_0 — curent elementar.

O clasă specială a materialelor paramagnetice o formează *materialele feromagnetice*, la care χ_m este pozitiv şi care au şi magnetizaţie permanentă.

Susceptivitatea magnetică şi permeabilitatea magnetică sînt mărimi magnetice de material, dependente de natura acestuia, de starea lui de deformare şi de temperatură.

La substanţele feromagnetice, susceptivitatea magnetică depinde şi de intensitatea cîmpului exterior precum şi de stările de magnetizare anterioare ale materialului,avînd, principial, curba de variaţie din figura 2.3.8.a. De la o anumită valoare H_s a cîmpului magnetizant, susceptivitatea scade, datorită fenomenului de saturaţie magnetică, produs de orientarea maximă a unui număr maxim de curenţi elementari. Ca urmare a acestui fapt, permeabilitatea magnetică, a cărei valoare în funcţie de susceptivitate este $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$, are o variaţie similară cu a susceptivităţii.

Permeabilitatea relativă a materialelor diamagnetice şi paramagnetice este apropiată de a aerului $\mu_r = 1$, iar a materialelor feromagnetice este mare, de ordinul $10^2 - 10^5$, astfel că acestea sînt bune ca mediu pentru circuitele magnetice ale maşinilor şi aparatelor electrice.

În figura 2.3.8.b este reprezentată curba $B = f(H)$, obţinută prin magnetizarea unui material feromagnetic complet demagnetizat, numită curbă de primă magnetizare, care rezultă din suprapunerea cîmpurilor B_0 şi B_i, avînd o porţiune de proporţionalitate (Om) şi o porţiune corespunzătoare saturaţiei (n, p).

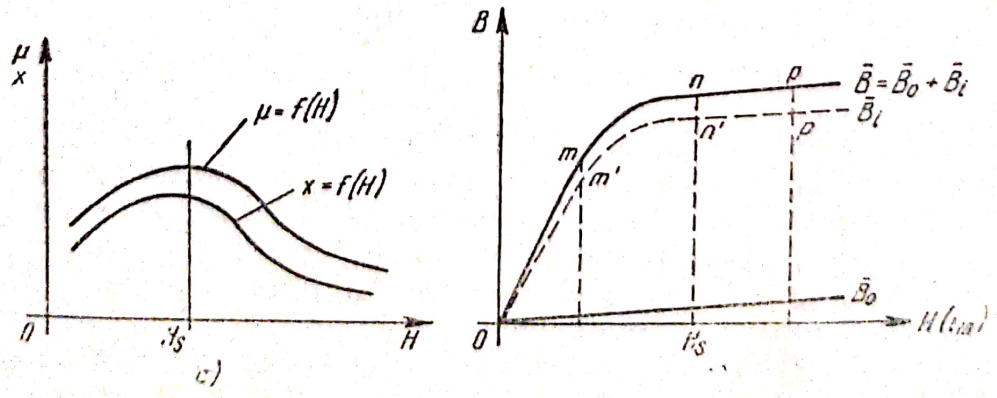


Fig. 2.3.8.

a — Variaţia susceptibilităţii magnetice şi a permeabilităţii magnetice, în funcţie de intensitatea cîmpului magnetic. *b* — Curbele de magnetizare ale substanţelor feromagnetice.

Scanned with OKEN Scanner

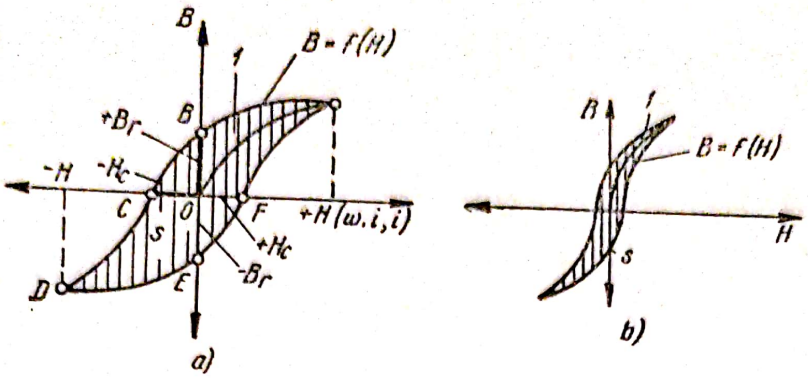


Fig. 2.3.9. Curba de magnetizare ciclică (histerezis):
a — pentru materiale permanente magnetice; *b* — pentru materiale slab magnetice; $\pm B_r$ — inducția remanentă; $\pm H_s$ — forța coercitivă; *1* — curba de primă magnetizare; *s* — suprafață închisă de conturul curbei histerezis.

Prin încălzire peste anumite limite (la oțel 700—900 °C), materialele feromagnetice își pierd proprietățile magnetice, datorită agitației termice a particulelor elementare. Temperaturii de dispariție a proprietăților magnetice a substanței, îi corespunde punctul Curie

La materialele feromagnetice, fenomenul dependenței inducției la un moment dat, de valoarea inducției din momentul precedent, se pune în evidență prin magnetizarea ciclică a materialului, cu ajutorul unui cîmp magnetizant, variabil între limitele $\pm H$, obținîndu-se curba de magnetizare ciclică $B = f(H)$, numită curbă histerezis (fig. 2.3.9).

Se observă apariția inducției remanente ($+ B_r$), pentru a cărei eliminare este necesară *o forță coercitivă* (FH) (fenomen caracterizat ca o întîrziere a variației inducției față de variația intensității cîmpului magnetizant).

La o anumită scară, suprafața curbei histerezis reprezintă energia pierdută în volumul unitar de substanță, la un ciclu de magnetizare, datorită nerevenirii particulelor care formează curenții elementari, în poziția inițială atunci cînd cîmpul de magnetizare H devine zero.

Puterea electrică pierdută prin magnetizare (prin histerezis), se poate determina cu următoarele formule experimentale:

$$p_h = \eta . B_m^n \quad [\mathrm{W/kg}] \tag{2.3.35}$$

unde avem: $B_m = (0{,}1 \ldots, 1{,}6)$ — inducția maximă ($\mathrm{Wb/m^2}$); η — coeficient caracteristic pentru un material dat; $n = 1{,}6 - 2$,

$$p_h = \sigma_h \frac{f}{10^2} \cdot \left(\frac{B \cdot m}{10^4}\right)^2 \quad [\mathrm{W/kg}] \tag{2.3.36}$$

unde avem: B_m — inducția maximă (Gs); f — frecvența de magnetizare (Hz); σ_h — coeficient de material, a cărui valoare este dată în tabla 2.5. 1.

2.3.6. **Legea circuitului magnetic.** Legea circuitului magnetic, constituie o generalizare a relației (2.3.15), stabilind legătura dintre intensitatea cîmpului magnetic de-a lungul unui contur situat în cîmp și curentul electric necesar pentru a obține această intensitate.

Scanned with OKEN Scanner

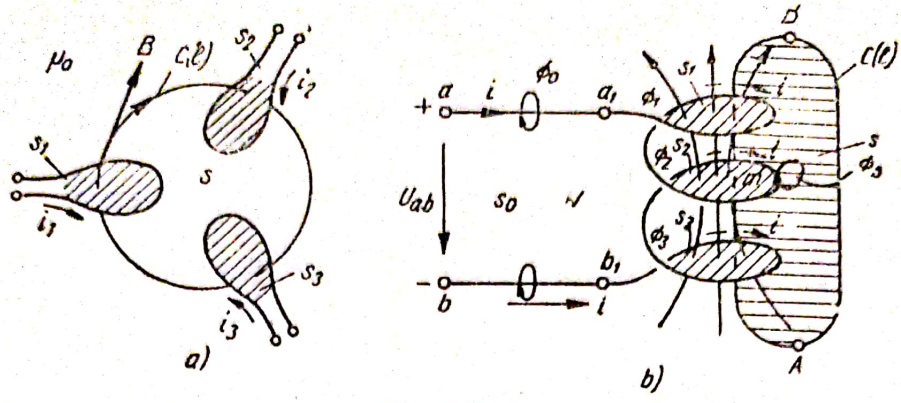


Fig. 2.3.10.

a — contur de integrare; *b* — flux magnetic total; aa_1, bb_1 — conductori de alimentare; Φ_0 — fluxul prin suprafaţa s_0, s_1, s_2, s_3 — spirele bobinei; $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = \Phi$ — fluxuri prin spirele bobinei; Φ_s — fluxul de scăpări.

Pentru conturul de integrare c, cu lungimea l, care străbate suprafeţele s_1, s_2, s_3, limitate de conturul a trei spire străbături de cureţii i_1, i_2, i_3, situate în aer, (fig. 2.3.10.*a*), expresia matematică a legii este următoarea:

$$F = \oint \frac{B_0}{\mu_0} \cdot \mathrm{d}\bar{l} = \oint \bar{H} \cdot \mathrm{d}\bar{l} = i_1 + i_2 + i_3 = i_t \quad [\mathrm{A}] \qquad (2.3.37)$$

i_t fiind curentul total care străbate surafaţa s limitată de conturul de integrare c.

În cazul unei bobine cu w spire, care străbate suprafaţa s limitată de conturul de integrare c, cu lungimea l, legea circuitului magnetic are următoarea expresie matematică:

$$F = \oint \bar{H}\, \mathrm{d}\bar{l} = W \cdot i = it \ [\mathrm{A}] \qquad (2.3.38)$$

Pentru o porţiune $AmBa$ a conturului de integrare (fig, 2.3.10.*a*), avem

$$F_{AB} = \int_B^A \bar{H}\, \mathrm{d}\bar{l} = W \cdot i \qquad (2.3.39)$$

Mărimea $F = \oint \bar{H} \cdot \mathrm{d}\bar{l}$, se numeşte *forţa magnetomotoare* (sau tensiune magnetică); mărimea *w. i.*, poartă denumirea de solenaţie şi are ca unitate de măsură amperspira (Asp). Conform relaţiilor precedente, legea circuitului magnetic (numită de unii autori şi legea curentului total), are următorul enunţ: „forţa magnetomotoare (tensiunea magnetică) de-a lungul unui contur închis, este egală cu curentul total ce străbate suprafaţa limitată de contur".

2.3.7. Circuit magnetic. Legea lui Ohm pentru circuite magnetice. Prin circuit magnetic se înţelege un dispozitiv în care liniile închise ale cîmpului magnetic trec printr-o succesiune de corpuri feromagnetice, separate eventual prin întrefieruri (fig. 2.3 11).

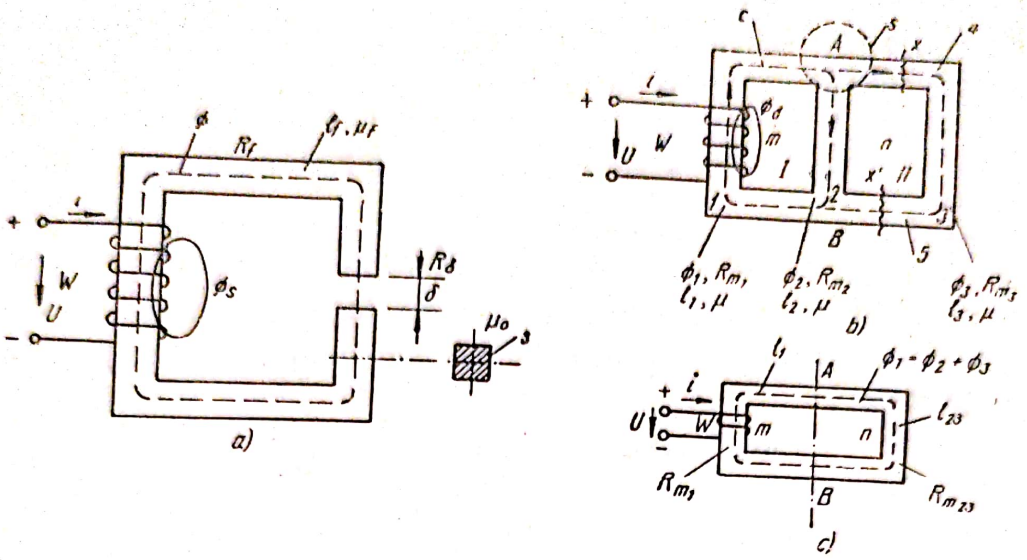


Fig. 2.3.11.

a — circuit magnetic în serie; *b* — circuit magnetic ramificat; *c* — schema echivalentă (în serie), a circuitului ramificat; *1, 2, 3* — coloanele circuitului magnetic; *4, 5* — juguri; l_1, l_2, l_3 — lungimile porțiunilor circuitului magnetic: l_{23} — lungimea porțiunii echivalente *A n B*.

Partea pe care se înfășoară bobinele se numește coloană sau miez; partea pe care nu se înfășoară bobine se numește jug, sau armătură, dacă este mobilă; fețele care mărginesc întrefierul se numesc poli: polul nord (N), dacă prin fața respectivă liniile de cîmp ies din corpul feromagnetic și sud (S) dacă prin fața respectivă liniile cîmpului intră în corpul feromagnetic.

Liniile cîmpului magnetic care nu se închid prin fier și întrefier, se numesc linii de dispersie (de scăpări).

Calculul circuitelor magnetice se face cu ajutorul legii circuitului magnetic, luînd în considerare și principiul continuității fluxului magnetic. Calculul constă în determinarea numărului de amperspire $w.\ i$ (a *solenației*) pentru a obține un anumit flux util, sau invers. În calculele aproximative, se neglijează fluxul de scăpări.

Legea lui Ohm pentru circuitul magnetic, stabilește legătura dintre f.m.m. și fluxul produs de ea într-un circuit magnetic, în funcție de dimensiunile geometrice și proprietățile magnetice ale circuitului.

Considerînd o porțiune neramificată de lungime l (fig. 2.3.12), a unui tub de flux magnetic (tub elementar), pe a cărui secțiuni ds_1; se consideră fluxul $d\Phi$ uniform repartizat, f.m.m. între punctele A și B, de-a lungul

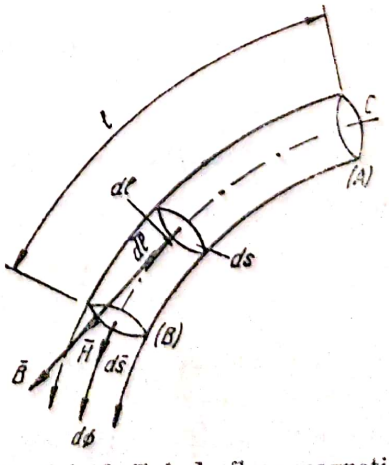


Fig. 2.3.12. Tub de flux magnetic.

curbei C (*pe* axa tubului, care în acest caz este chiar o linie de cîmp, deoarece $\bar{B} \parallel H \parallel \bar{dl}$), este dată de relaţia

$$F_{AB} = \int_A^B \bar{H} \cdot d\bar{l} = \int_A^B H dl = \int_A^B \frac{B}{\mu} \cdot dl = \int_A^B \frac{d\Phi \cdot dl}{ds \cdot \mu} = W \cdot i. \qquad (2.3.40)$$

Deoarece $d\Phi$ este constant de-a lungul tubului şi în cazul circuitelor omogene (de exemplu din fier) inducţia este uniform repartizată pe secţiune, cu μ şi $s = \oint ds$. constante, scoţînd valoarea lui $d\Phi$ şi făcînd integrarea tuturor fluxurilor elementare prin secţiunea s a circuitului, se obţine fluxul total Φ prin ea

$$\Phi = \oint d\,\Phi = \frac{w \cdot i}{\int_A^B \frac{l}{\mu ds}} = \frac{w \cdot i}{\frac{l}{\mu s}} = \frac{F_{AB}}{R_m} \qquad (2.3.41)$$

sau, în cazul unui contur de integrare închis de lungime l.

$$\Phi = \frac{w \cdot i}{\int_l \frac{l}{\mu ds}} = \frac{F}{R_m} \qquad [\text{Wb}]. \qquad (2.3.42)$$

Mărimea pozitivă R_m definită de raportul dintre f.m.m. şi fluxul magnetic, se numeşte reluctanţă sau rezistenţă magnetică a porţiunii de circuit magnetic şi se notează

$$R_m = \frac{F}{\Phi} \qquad \left[\frac{\text{A} \cdot \text{sp}}{\text{Wb}}\right] \qquad (2.3.43)$$

avînd ca unitate de măsură amperspira pe werber (A. sp/Wb) ; din expresia reluctanţei

$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot s} \qquad \left[\frac{1}{\text{H}}\right] = \left[\frac{\text{m}}{\frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot \text{m}^2}\right] \qquad (2.3.44)$$

se vede că $\text{A} \cdot \text{sp/Wb} = 1/\text{H}$.

Inversul reluctanţei se numeşte permeanţă şi se notează

$$\Lambda = \frac{1}{R_m} = \frac{\Phi}{F} = \frac{\mu \cdot s}{l} \qquad \left[\frac{\text{Wb}}{\text{A} \cdot \text{sp}}\right]. \qquad (2.3.45)$$

În relaţiile precedente, l este lungimea, s secţiunea şi μ permeabilitatea circuitului magnetic.

Datorită analogiei (formale) cu legea lui Ohm din cazul circuitelor electrice, relaţia (2.3.43) a fost numită legea lui Ohm pentru circuite magnetice, avînd

Scanned with OKEN Scanner

următorul enunț: fluxul magnetic de-a lungul unui circuit magnetic, este egal cu raportul dintre f.m.m. și reluctanța circuitului.

În mod asemănător, se pot stabili analogii (formale) între teoremele lui Kirchhoff din cazul circuitelor electrice și teoremele folosite în calculul circuitelor magnetice.

2.3.8. **Teoremele lui Kirchhoff pentru circuitele magnetice.** *a) Prima teoremă.* Conform principiului continuității fluxului magnetic, fluxul magnetic printr-o suprafață închisă este zero $\left(\oint_s \bar{B} \cdot \mathrm{d}\bar{s} = 0\right)$. Aplicînd acest principiu unei suprafețe s ce conține un nod (punct de ramificație) al unui circuit magnetic (fig. 2.3.11. *b*) și considerînd fluxurile care ies din nod pozitve, și cele care intră în nod negative, se obține relația

$$-\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 0\,; \quad \sum \Phi_k = 0 \tag{2.3.46}$$

care exprimă prima teoremă a lui Kirchhoff, cu următorul enunț: suma algebrică a fluxurilor magnetice, care trec prin laturile unui circuit magnetic ce concură într-un nod al acestui circuit, este zero.

b) A doua teoremă. Se consideră ochiul I (fig. 2.3.11.*b*); se alege un sens pozitiv de circulație de-a lungul laturilor ochiului, adică sensul în care ar trebui să fie îndreptat $\bar{B}$ (sau $\bar{H}$) pentru ca fluxul să rezulte pozitiv în sensul în care se efectuează integrala de linie a vectorului H și invers. Notăm cu R_{m1} și R_{m2} reluctanțele laturilor, cu $w_1 i_1$, $w_2 i_2 = 0$, solenațiile bobinelor de pe laturi, cu Φ_1, Φ_2, fluxurile prin aceste porțiuni de circuit.

Considerînd conturul de integrare c (coloanele 1,2 și porțiunile de jug care le unește), între f.m.m, solenații, reluctanțe și flux, există relațiile

$$F_c = \sum \theta_k = \int_c \bar{H}\mathrm{d}\bar{l} = \sum_1^{n=2} F_k = \sum_1^{n=2} R_{mk} \cdot \Phi_k \tag{2.3.47}$$

$n = 2$ fiind numărul laturilor (ramurilor) ochiului I.

Relația

$$\sum F_k = \sum w_k \cdot i_k = \sum R_{mk} \cdot \Phi_k. \tag{2.3.48}$$

exprimă teorema a doua a lui Kirchhoff pentru circuitul magnetic, cu următorul enunț: suma algebrică a solenațiilor care înlănțuie laturile fără dispersie magnetică ale oricărui ochi de circuit magnetic este egală cu suma algebrică a produselor reluctanțelor magnetice ale laturilor prin fluxurile magnetice care trec prin ele (sau: suma algebrică a tensiunilor magnetomotoare din laturile ochiului, este egală cu suma algebrică a căderilor de tensiune magnetică pe laturi).

Căderile de tensiune magnetică și forțele magnetomotoare, sînt pozitive cînd fluxurile care intră în componența lor, sînt dirijate în sensul de parcurgere al circuitului magnetic fixat (prin săgeata curbă). Fluxul de dispersie

Scanned with OKEN Scanner

Φ_d se poate considera ca fluxul unei noi laturi a circuitului magnetic, legată în paralel între punctele extreme ale liniilor de inducţie ale fluxului de dispersie. Reluctanţa de dispersie se evluează sau se măsoară.

2.3.9. **Teoremele reluctanţelor echivalente.** Reluctanţa echivalentă a unei porţiuni de circuit magnetic cu două extremităţi de acces şi fără solenaţii pe laturi, este egală cu raportul dintre tensiunea magnetică aplicată între cele două extremităţi („borne") şi fluxul ce intră printr-o extremitate şi iese prin cealaltă

$$R_{me} = \frac{E}{\Phi}. \tag{2.3.49}$$

a) Circuitul magnetic cu n laturi în serie (fig. 2.3.11.*a*). Fluxul fiind acelaşi în toate laturile (porţiunile) circuitului neomogen, din aplicarea teoremelor lui Kirchhoff rezultă

$$F = R_{me} \cdot \Phi = \sum_1^n F_k = \sum_1^n R_{mk} \cdot \Phi = \Phi \sum R_{mk} \tag{2.3.50}$$

de unde rezultă că reluctanţa echivalentă este egală cu suma reluctanţelor componente

$$R_{me} = \sum_1^n R_{mk}. \tag{2.3.51}$$

În cazul circuitului din figura 2.3.11, *a* avem

$$R_{me} = \sum R_k = R_f + R_\delta = \sum \frac{l_k}{\mu_k \cdot S_k} = \frac{l_f}{\mu_f \cdot s_f} + \frac{\delta}{\mu_0 \cdot S_\delta} \tag{2.3.52}$$

unde indicele *f* se referă la mărimile considerate în fier iar indicele δ la mărimile considerate în întrefierul circuitului magnetic neomogen.

b) Circuitul magnetic cu n laturi în paralel (fig. 2.3.11.*b*). Tensiunea magnetică fiind aceeaşi la bornele tuturor laturilor, din aplicarea teoremelor lui Kirchhoff rezultă

$$\Phi = \frac{F}{R_{me}} = \sum_1^n \Phi_k = \sum \frac{F_k}{R_{mk}} = F_k \sum_1^n \frac{1}{R_{mk}} \tag{2.3.53}$$

de unde rezultă că inversul reluctanţei echivalente a mai multor laturi în paralel (cărora li se aplică aceeaşi tensiune magnetică), este egală cu suma inverselor reluctanţelor laturilor (sau : permeanţa echivalentă a laturilor în paralel, este egală cu suma permeanţelor laturilor).

$$\frac{1}{R_{me}} = \sum_1^n \frac{1}{R_{mk}}; \quad \Lambda_e = \sum_1^n \Lambda_k \tag{2.3.54}$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru circuitul din figura 2.3.11, *b*, avem

$$\Phi_1 = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{F_{23}}{R_{m2}} + \frac{F_{23}}{R_{m3}} =$$

$$= F_{23}\left(\frac{1}{R_{m2}} + \frac{1}{R_{m3}}\right) = \frac{F_{23}}{R_{m23}} \quad (2.3.55)$$

Circuitul se înlocuiește cu circuitul echivalent în serie (fig. 2.3. 11.*c*), cu reluctanța totală $R_m = (R_{m1} = (R_{m23})$; fluxul total în coloana 1, este

$$\Phi_1 = \frac{F}{R_m} = \frac{F_{BmA} + F_{AnB}}{R_m} = \frac{W \cdot i}{R_m} \quad (2.3.56)$$

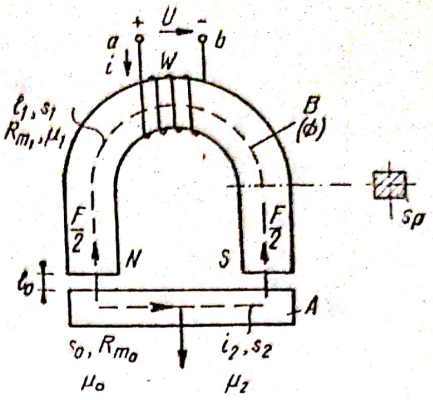


Fig. 2.3.13. Schema unui electromagnet: *ab* – bornele bobinei *w*, străbătută de curentul *i*; $\frac{F}{2}$ – forța electromagnetică, cu care este atrasă armătura *A*, de către un pol; *F* – forța portantă.

c. Circuitul magnetic al unui electromagnet (fig. 2.3.13). Considerînd fierul nesaturat și permeabilitatea constantă, f.m.m. necesară pentru producerea fluxului Φ, este

$$W \cdot i = \Phi \Sigma R_{mk} = \Phi \Sigma \frac{l_k}{\mu_k \cdot S_k} = \Phi\left[\frac{l_1}{\mu_1 S_1} + \frac{l_2}{\mu_2 s_2} + \frac{2l_0}{\mu_0 s_0}\right] \quad (2.3.57)$$

(de obicei, $s_1 = s_2 = s_0 = s_p$, este secțiunea unui pol, iar $s = 2\,s_p$ este suprafața totală de contact dintre electromagnet și armătură.

Forța portantă a electromagnetului F, la care armătura A din fier moale se desprinde de pe miezul de fier, este dată de relațiile

$$F = \frac{B^2 \cdot S}{\mu_0} \quad [N] \quad (2.3.58)$$

unde B este inducția magnetică (Wb/m^2) iar μ este permeabilitatea magnetică (H/m) a circuitului magnetic (considerată aceeași în toate porțiunile din fier ale lui).

O altă relație este următoarea

$$F = \left(\frac{B}{5\,000}\right)^2 \cdot S \cdot 9{,}81 \quad [N] \quad (2.3.59)$$

unde B este inducția (T) iar s suprafața (m^2).

2.3.10. **Inducția electromagnetică.** Inducția electromagnetică constă în producerea unei f.e.m (tensiuni electromotoare) într-un circuit, sau, în general, în lungul unei curbe închise, datorită variației în timp a fluxului magnetic care străbate o suprafață sprijinită pe acea curbă. Sensul acestei f.e.m. este astfel, încît efectele ei se opun cauzei care a produs-o (regula lui Lenz).

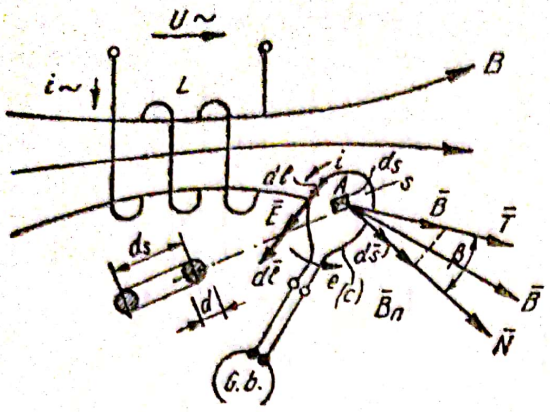


Fig. 2.3.14. Spiră situată într-un cîmp magnetic variabil în timp:
L — bobină; N — normala la suprafața spirei; T — tangenta la linia cîmpului în punctul A (care coincide cu centrul geometric al spirei); β — unghiul dintre tangenta la linia cîmpului și normala la spiră; i — curentul în circuit.

Legea inducției electromagnetice este exprimată de relația

$$e = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} \quad \text{sau, explicit,} \quad \int_{\bar{l}} \bar{E}\,\mathrm{d}\bar{l} = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int_{s} \bar{B}\,\mathrm{d}\bar{s} \qquad (2.3.60)$$

cu următorul enunț: tensiunea electromotoare produsă prin inducție electromagnetică în lungul unei curbe închise c, este egală cu viteza de scădere a fluxului magnetic prin orice suprafață limitată de conturul acestei curbe (fig.2.3.14). În relațiile precedente, avem: $e = \int \bar{E}\,\mathrm{d}\bar{l}$ este t.e.m. în lungul curbei c; $\Phi = \int_s \bar{B}\,\mathrm{d}\bar{s}$ este fluxul magnetic prin suprafața s sprijinită pe curbă.[1]

La aplicarea legii inducției electromagnetice, sensul de integrare pe curba c (sensul lui $\mathrm{d}\bar{l}$) și sensul normal $\bar{N}$ la suprafața $\mathrm{d}\bar{s}$, în raport cu care se calculează fluxul, sînt asociate după regula burghiului drept.

În cazul cînd conturul c la care se aplică legea este luat în lungul conductorului unei bobine cu w spire practic suprapuse, Φ_s fiind fluxul unei spire, se ia în considerare fluxul magnetic total $\Phi = w\,\Phi_s$ iar formula precedentă devine:

$$e = -W\frac{\mathrm{d}\Phi_s}{\mathrm{d}t} = -W\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} \qquad (2.3.61)$$

Faraday a stabilit experimental legea inducției electromagnetice pentru o porțiune de circuit constituit dintr-un conductor c, cu lungimea activă l, considerat pentru simplificare perpendicular pe liniile magnetice ale cîmpului B, care se deplasează cu viteza v în cîmp din poziția 1 în poziția 2, în intervalul de timp $\mathrm{d}t$ (sub acțiunea unei forțe exterioare $\bar{f}_e$ de natură neelectromagnetică) pe distanța $x = v \cdot \mathrm{d}t$ (fig. 2.3.15, *a*).

[1] Regula (principiul) lui Lenz, arată că sensul t.e.m. induse într-un circuit electric este astfel, încît cîmpul magnetic propriu (al circuitului), acționează în sens contrar variațiilor de cîmp care determină fenomenul de inducție electromagnetică (în circuit).

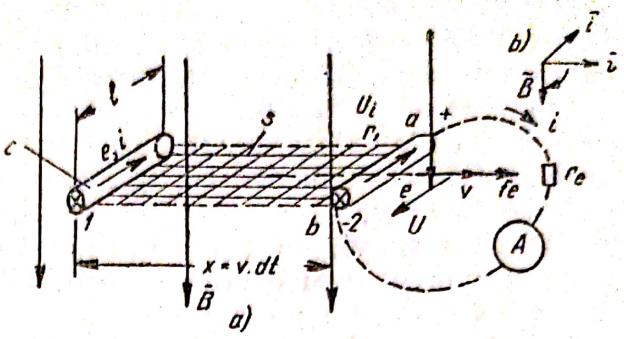


Fig. 2.3.15. Deplasarea unui conductor liniar într-un cîmp magnetic, omogen: u_i — cădere de tensiune interioară; r_i — rezistența interioară a circuitului închis; U — tensiunea la bornele conductorului; f — forța electromagnetică.

La deplasarea sa, conductorul descrie suprafața $s = x \cdot l$. întersectînd un număr dN de linii ale cîmpului magnetic, care reprezintă tocmai variația fluxului prin suprafață, $dN = d\Phi = B \cdot d \cdot s = B\,l \cdot v \cdot dt$.

Numărul de linii intersectate de conductor în unitatea de timp , dă viteza de variație a fluxului, prin suprafața descrisă de conductorul în mișcare, aceasta fiind tocmai t.e.m. e indusă în conductor, care este proporțională cu cîmpul, cu lungimea activă și cu viteza de deplasare a lui

$$e = B \cdot l \cdot v \quad [\mathrm{V}] \tag{2.3.62}$$

Ea produce un curent electric i, în cazul cînd la bornele a, b, ale conductorului se conectează un circuit exterior cu rezistența r_e; dacă r_i este rezistența conductorului, u_i este căderea de tensiune interioară și u este tensiunea la bornele lui, curentul electric produs de t.e.m. determinat pe baza legii lui Ohm, este

$$i = \frac{e}{r_i + r_e} = \frac{U + U_i}{r_i + r_e} = \frac{U}{r_e} = \frac{U_i}{r_i}. \tag{2.3.63}$$

Sensul curentului în conductor, același cu al f. e.m. induse, este dat de regula mîinii drepte: se ține palma mîinii drepte astfel ca fluxul să intre în palmă; dacă degetul mare rotit la 90° față de palmă, este îndreptat în sensul vitezei de mișcare a conductorului, celelalte degete ale mîinii sînt îndreptate în sensul f.e.m. induse (și al curentului în conductor, în cazul în care circuitul este închis).

Sensul t.e.m. este dat și de regula triedrului trirectangular drept ca fiind același cu sensul produsului vectorial $\bar{v} \times \bar{B}$ (fig. 2.3.15, *b*).

Pe baza fenomenului descris se construiesc generatoarele electrice.

Fenomenul inducției electromagnetice, este însoțit de fenomenul apariției forței electromagnetice f, al cărui sens este opus forței exterioare f_e (fig. 2.3.15).

Menționăm că în cazul deplasării într-un cîmp magnetic al unui conductor străbătut de curentul electric i sub acțiunea forței electromagnetice f, conform principiului lui Lenz, în conductor se induce o t.e.m. e_c, numită tensiune contra electromotoare (t. c.e.m), care produce un curent i_c, opus curentului i (fig. 2.3.3).

Scanned with OKEN Scanner

Maxwell a formulat legea inducţiei electromagnetice *pentru un circuit închis*, format dintr-o spiră imobilă, care limitează o suprafaţă s, străbătută de un flux magnetic Φ, variabil în timp (fig. 2.3.14).

Îndepărtînd spira din cîmp, cu viteză mare în timpul Δt, astfel ca fluxul să varieze de la valoarea Φ la zero (avînd astfel variaţie negativă, $-\Delta\Phi = \Phi$), galvanometrul balistic G_b, măsoară sarcina electrică q (a cărei variaţie este $\Delta q = q$), care trece prin spiră, şi care este proporţională cu suprafaţa s a spirei, cu rezistenţa ei electrică r (care depinde de material şi de diametrul d al conductorului), şi cu componenta normală a inducţiei $B_n = B \cdot \cos\beta$ pe suprafaţa s.

Ţinînd seama de relaţia $\Phi = B \cos\beta \cdot s = \Phi \cos\beta$, rezultatul experienţei se exprimă prin relaţia

$$q = B \cdot \cos\beta \cdot \frac{S}{r} \frac{\psi \cos\beta}{r} \tag{2.3.64}$$

care pentru $\beta = 0$, devine

$$q = \frac{\Delta\Phi}{r} \cdot \tag{2.3.65}$$

În această experienţă variaţia totală a fluxului este negativă şi egală, în valoare absolută cu fluxul ($-\Delta\Phi = \Phi$), iar variaţia totală a sarcinii electrice care trece prin spiră este pozitivă şi egală cu sarcina ($\Delta q = q$), astfel că relaţia precedentă devine

$$\Delta q = \frac{\Delta\Phi}{r} \cdot \tag{2.3.66}$$

Aceasta este una din formulările legii inducţiei electromagnetice care arată că variaţia sarcinii electrice printr-o spiră situată într-un cîmp magnetic variabil, este egală cu raportul dintre variaţia fluxului prin suprafaţa spirei (a componentei lui normale la suprafaţă) şi rezistenţa circuitului ei.

În cazul particular al unei variaţii elementare a fluxului, ţinînd seama de relaţia $dq = i \cdot dt$, şi $e = i \cdot r$, relaţia precedentă devine

$$dq = i\,dt = -\frac{d\Phi}{r}; \qquad e = \int \overline{E} \cdot d\overline{l} = i \cdot r = -\frac{d\Phi}{dt} \cdot \tag{2.3.67}$$

Această formulă este echivalentă cu relaţia (2.3.62), stabilită în cazul conductoarelor în mişcare, avînd în vedere următoarele echivalenţe: $s = xl$; $\Phi = B \cdot s = N$, unde N este numărul de linii ale fluxului magnetic intersectate de conductorul care în mişcarea lui descrie suprafaţa s, B fiind tocmai numărul de linii ale fluxului magnetic pe unitatea de suprafaţă; $\Delta N = -\Delta\Phi$, este variaţia totală a fluxului prin suprafaţa s; $\Delta q = \frac{\Delta N}{r}$ este variaţia sarcinii electrice prin circuitul conductorului la deplasarea lui din poziţia 1 în poziţia 2; la limită $\Delta N = d\Phi$; $\Delta t = dt$; ca urmare se poate scrie $e = i \cdot r = \frac{dN}{dt} = -\frac{d\Phi}{dt}$, care arată că „t.e.m. indusă într-un

circuit închis, la variația fluxului magnetic ce străbate suprafața limitată de conturul circuitului, este egală cu viteza de variație a fluxului, luată cu semnul minus''. Sensul curentului în circuit este același cu al t.e.m, al cărui sens este legat de sensul de variație al fluxului prin suprafață, prin regula burghiului drept.

2.3.11. **Curenții turbionari.** În piesele metalice masive situate într-un cîmp magnetic variabil în timp, datorită fenomenului inducției electromagnetice, se induc t.e.m. care produc curenți electrici, al căror circuit nu se poate determina, numiți curenți turbionari i (Foucault; fig. 2.3.16). Aceștia produc, prin efect Joule-Lenz, încălzirea corpului metalic în care apar, ceeace atrage și o scădere a fluxului magnetic în substanță.

Curenții turbionari se deduc prin mărimile rezistenței electrice a circuitului lor, atît din punct de vedere macroscopic, prin executarea circuitului magnetic din tole izolate între ele, dispuse perpendicular pe direcția curenților (în lungul liniilor magnetice; fig. 2.3.16. *b*), cît și din punct de vedere structural, prin utilizarea unui aliaj din ferosiliciu (cu 1,7—4% Si).

Puterea consumată la încălzirea miezurilor magnetice din fier, este dată de relația

$$p_t = \sigma_t (f \cdot B_m \cdot b)^2 \quad [\mathrm{W/kg}] \tag{2.3.68}$$

unde avem: f — frecvența de magnetizare (Hz); B_m — inducția maximă (T); b — grosimea tolelor (m); σ_t — coeficient cuprins între 2,2 și 4,8, în funcție de grosimea tolelor (tabela 2.5.1).

Pierderile totale în fierul circuitelor magnetice, constau din suma pierderilor prin histerezis și prin curenți turbionari.

$$p_{fe} = p_h + p_t \quad [\mathrm{W/kg}]. \tag{2.3.69}$$

2.3.12. **Inducția magnetică proprie și reciprocă.** Fenomenul de inducție proprie, constă în inducerea unei f.e.m., de către un curent, în propriul său circuit.

În spira din figura (2.3.17), curentul i produce fluxul de inducție proprie ψ_L; experimental se constată că acest flux este proporțional cu curentul i

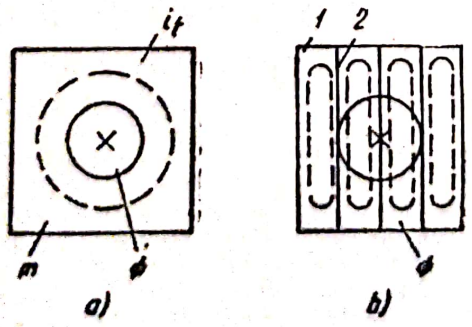


Fig. 2.3.16. Curenți turbionari într-un corp metalic masiv m, situat într-un cîmp magnetic variabil Φ:
1 — tolă; 2 — izolație; i_t — curent turbionar.

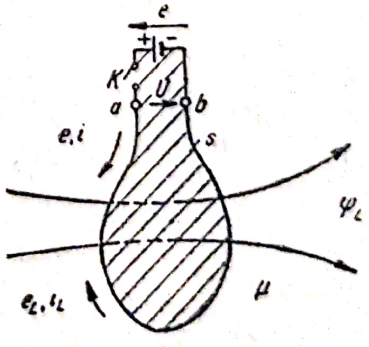


Fig. 2.3.17. Circuit simplu străbătut de curent electric:
K — întrerupător; e — sursă de f.e.m.

şi cu o mărime L, numită inductanţă (inductivitate) proprie a circuitului. Aceasta se măsoară în henry (H), iar valoarea ei depinde de dimensiunile geometrice ale circuitului, de numărul său de spire şi de proprietăţile magnetice ale mediului în care se formează fluxul ψ_L (în cazul materialelor feromagnetice unde $\mu = f(H)$). Între aceste mărimi există relaţia determinată experimental

$$\psi = L \cdot i; \quad \left[\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\right]; \quad L = \frac{\Psi}{i} = \frac{w\Psi_s}{i} > 0 \qquad [\text{H}]. \qquad (2.3.70)$$

Se numeşte inductanţă proprie L a unui circuit, raportul pozitiv dintre fluxul ψ care trece prin circuit, produs de curentul acelui circuit (în sensul asociat, după regula burghiului drept, sensului curentului) şi curentul i care îl produce. În relaţia precedentă, w este numărul în spire, în cazul unei bobine, iar Ψ_s este fluxul unei spire, astfel că fluxul total este $\Psi = w\Psi_s$.

Avînd în vedere că atît inductanţa proprie a circuitului cît şi curentul prin circuit pot varia în timp, forţa electromotoare de inducţie proprie e_L conform legii inducţiei electromagnetice, este dată de relaţia:

$$e_L = -\frac{\mathrm{d}\Phi_L}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(L \cdot i) = -L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} - i\frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}t} = -\left(L \cdot \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right)_{L=\text{ct}} [\text{V}] \qquad (2.3.71)$$

În circuitele de curent continuu, f.e.m. de inducţie proprie apare numai la închiderea şi deschiderea circuitului, cînd fluxul este variabil.

Fenomenul de inducţie reciprocă (mutuală), constă în inducerea, într-un circuit (indus) a unei f.e.m. de inducţie reciprocă e_M, de către curentul din alt circuit (inductor). În acest caz, circuitele sînt cuplate inductiv prin intermediul fluxului magnetic Ψ_{12}, care străbate suprafaţa limitată de conturul spirei 2, fiind produs de curentul i din spira 1, numit de inducţie reciprocă (fig. 2.3.18). Acesta este proporţional cu curentul i_1 şi cu mărimea M_{12}, numită inductanţă (inductivitate) reciprocă (mutuală) care se măsoară în henry (H) şi a cărui valoare depinde de dimensiunile geometrice ale circuitelor de numărul de spire a circuitului indus, de poziţia

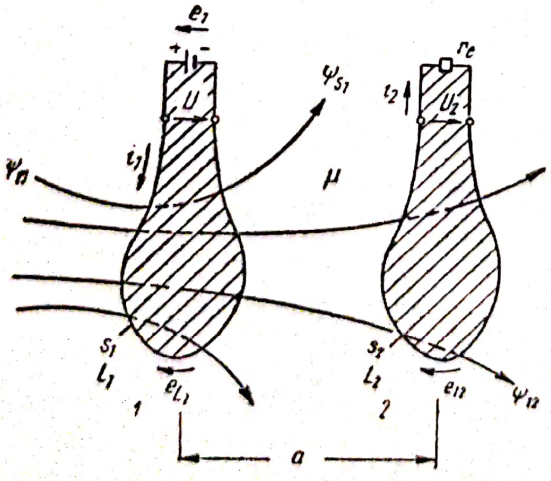


Fig. 2.3.18. Circuite cuplate inductiv:

1 — circuit inductor, cu suprafaţa s_1; *2* — circuit indus, cu suprafaţa s_2; e_1 — sursa de f.e.m.; ψ_{s_1} — fluxul de scăpări; r_e — receptor în circuitul indus; L_1, L_2 — inductanţele proprii ale circuitelor *1* şi *2*.

lor reciprocă (distanța și unghiul dintre bobine și de proprietățile magnetice ale mediului (în cazul circuitelor magnetice din fier). Între aceste mărimi există relația (dedusă experimental):

$$\Psi_{12} = M_{12} \cdot i_1 \left[\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\right]; \quad M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{i_1} = \frac{w_2 \Psi_{12} S}{i_1} \gtrless 0 \quad [\text{H}] \qquad (2.3.72)$$

Se numește *inductanță mutuală* (reciprocă) M_{12} între circuitele 1 și 2, raportul dintre fluxul total Ψ_{12} produs de circuitul 1, care trece prin circuitul 2, și curentul i_1 care îl produce.

Deoarece sensul de referință al curentului i_2 din al doilea circuit este arbitrar și deoarece fluxul se consideră pozitiv în sensul asociat după regula burghiului drept sensului curentului i_2, L_{21} poate rezulta pozitivă sau negativă, după sensurile de referință alese în cele două circuite.

Ținînd seama că M_{12} și i_1 pot varia în timp, forța electromotoare de inducție reciprocă e_{12}, indusă în circuitul 2 de curentul din circuitul 1 datorită fenomenului de inducție electromagnetică, este dată de relația:

$$e_{12} = -\frac{\mathrm{d}\psi_{12}}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(M_{12} \cdot i_1) = -M_{12}\frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} - i_1\frac{\mathrm{d}M_{12}}{\mathrm{d}t} = -\left(M_{12}\frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t}\right)_{M_{12}=\text{ct}} \qquad (2.3.73)$$

În cazul cînd circuitul 2 este inductor, avem:

$$\psi_{21} = M_{21} \cdot i_2; \quad e_{21} = -\frac{\mathrm{d}\psi_{21}}{\mathrm{d}t} = -M_{21}\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} - i_2\frac{\mathrm{d}M_{21}}{\mathrm{d}t} = -\left(M_{21}\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t}\right)_{M_{21}=\text{ct}} \qquad (2.3.74)$$

Cînd permeabilitatea magnetică a mediului în care se află cele două circuite nu depinde de intensitatea cîmpului magnetic, cele două inductanțe sînt egale:

$$M_{12} = M_{21} = M = \frac{\psi_{12}}{i_1} = \frac{\psi_{21}}{i_2} \qquad [\text{H}] \qquad (2.3.75)$$

(Relația precedentă este valabilă și în cazul mediilor neliniare, la aceeași intensitate a cîmpului).

Pentru a se ține seama de faptul că numai o parte din fluxul propriu produs de un circuit electric trece prin celălalt circuit electric (fluxul util ψ_{12} sau ψ_{21}), iar o parte din flux nu trece (fluxul de dispersie sau de scăpări ψ_{1s} sau ψ_{2s}), în tehnică se operează cu anumiți coeficienți care definesc gradul de dispersie al circuitelor, care sînt coeficientul de cuplaj magnetic a două bobine (k) și coeficientul de dispersie (σ) (adimensionale):

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \qquad \sigma = 1 - k^2 = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 \cdot L_2}. \qquad (2.3.76)$$

(pentru $k = 0$, $\sigma = 1$, circuitele sînt necuplate; pentru $k = 1$, $\sigma = 0$, circuitele sînt cuplate perfect, neexistînd dispersie).

Scanned with OKEN Scanner

2.3.13. **Energia cîmpului magnetic.** În ipoteza unui mediu liniar din punctul de vedere magnetic (cu μ independent de H), energia înmagazinată în cîmpul magnetic al unui sistem de două bobine, este dată de relaţia următoare

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 \cdot i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 \cdot i_2^2 + M i_1 \cdot i_2 \qquad [\mathrm{J}] \qquad (2.3.77)$$

Energia magnetică proprie a unei bobine, este:

$$W_m = \frac{\Phi i}{2} = \frac{L i^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}. \qquad (2.3.78)$$

De la această relaţie, pe baza unor înlocuiri (nemenţionate în text), se ajunge la expresia următoare

$$W_m = \int_v \frac{\overline{B} \cdot \overline{H}}{2} \cdot \mathrm{d}v = \int_v W'_m \cdot \mathrm{d}v. \qquad [\mathrm{J}] \qquad (2.3.79)$$

unde W'_m este densitatea de volum a energiei cîmpului magnetic (energia în unitatea de volum)

$$W'_m = \frac{W_m}{V} = \frac{\overline{B} \cdot \overline{H}}{2} = \frac{\mu H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu} \qquad [\mathrm{J/m^3}] \qquad (2.3.80)$$

$\left(V = \int_v \mathrm{d}v$, reprezintă volumul ocupat de cîmpul magnetic al bobinei$\right)$.

2.3.14. **Teoremele forţelor generalizate în cîmpul magnetic.** Teoremele forţelor generalizate stabilesc legătura dintre variaţia $\mathrm{d}W_m$ a energiei cîmpului magnetic (W_m), datorită variaţiei $\mathrm{d}x$ a unei coordonate generalizate (x) dintr-un sistem de bobine parcurse de curenţi electrici, sub acţiunea forţei magnetice generalizate X. De exemplu: dacă x este o deplasare liniară, X este o forţă de natură electromagnetică; dacă x este o deplasare unghiulară (o rotire), X este un moment.

Teorema întîi. Forţa generalizată X, corespunzătoare coordonatei generalizate x, este egală cu derivata parţială a energiei magnetice (exprimată ca funcţie de fluxuri şi de coordonata generalizată) în raport cu coordonata generalizată, luată cu semn schimbat, la fluxuri magnetice constante prin circuite

$$X = -\left[\frac{\mathrm{d}W_m}{\mathrm{d}x}\right]_{\Phi_k = \mathrm{ct.}} = -\left[\frac{\partial W_m}{\partial x}\right]_{\Phi_k = \mathrm{ct.}} \qquad (2.3.81)$$

Teorema a doua. Forţa generalizată X corespunzătoare coordonatei generalizate x, este egală cu derivata parţială a energiei magnetice (expri-

Scanned with OKEN Scanner

mată ca funcție de curenți și coordonata generalizată), în raport cu coordonata generalizată corespunzătoare, la curenți constanți în circuite

$$X = \left[\frac{dW_n}{dx}\right]_{i_k=ct.} = \left[\frac{\partial W_m}{\partial x}\right]_{i_k=ct.} \qquad (2.3.82)$$

Se menționează că folosind ambele relații, se obține aceeași valoare pentru aceeași forță X.

2.4. CURENTUL ALTERNATIV

2.4.1. Funcții periodice. În electrotehnică se întîlnesc mărimi electrice alternative, ale căror valori se repetă la intervale de timp egale și care se pot reprezenta prin funcții periodice de timp. O astfel de funcție are valori egale și variația în același sens pentru valori ale timpului t, care variază în progresie aritmetică.

$$y = f(t) = f(t + T) = \ldots = f(t + nt) \qquad (2.4.1)$$

Funcțiile periodice de timp se pot descompune, cu ajutorul seriei lui Fourier, în funcții sinusoidale de timp, prin a căror însumare se obține funcția alternativă (fig. 2.4.1). Astfel, funcția $y_3 = f(t) = C \cdot \sin \omega_3 t$, rezultă din însumarea a două funcții sinusoidale cu frecvențe diferite : $y_1 = A \sin \omega_1 t$; $y_2 = B \cdot \sin \omega_2 t$. În cele ce urmează, se vor considera mărimile electrice ca funcții sinusoidale de timp (fig. 2.4.2. *a* ; fig. 2.4.3. *b*).

Perioada T este intervalul de timp minim, după care se repetă valorile funcției y. Se exprimă în unități de timp (secunde).

Frecvența este mărimea inversă perioadei, avînd ca unitate de măsură perioada pe secundă numită hertz (Hz), frecvența industrială standardizată fiind de 50 Hz.

$$f = \frac{1}{T} \qquad [\text{Hz}] \qquad (2.4.2)$$

Cea mai simplă funcție sinusoidală de timp, este de forma

$$y = f(t) = A \sin (wt + \psi) \qquad (2.4.3)$$

unde avem : y — valoarea instantanee (momentană) a funcției ; A — valoarea maximă a funcției (amplitudine) ; ω — pulsația sau frecvența unghiulară

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f. \qquad (2.4.4)$$

Mărimea ψ, care determină valoarea funcției la momentul $t = 0$, se numește faza ini-

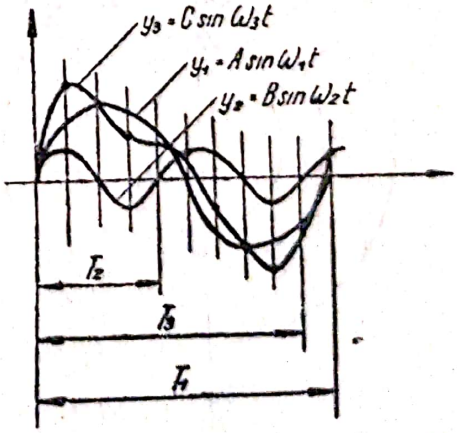


Fig. 2.4.1. Funcție periodică alternativă, rezultată din adunarea a două funcții sinusoidale cu frecvențe diferite, în reprezentare geometrică.

Scanned with OKEN Scanner

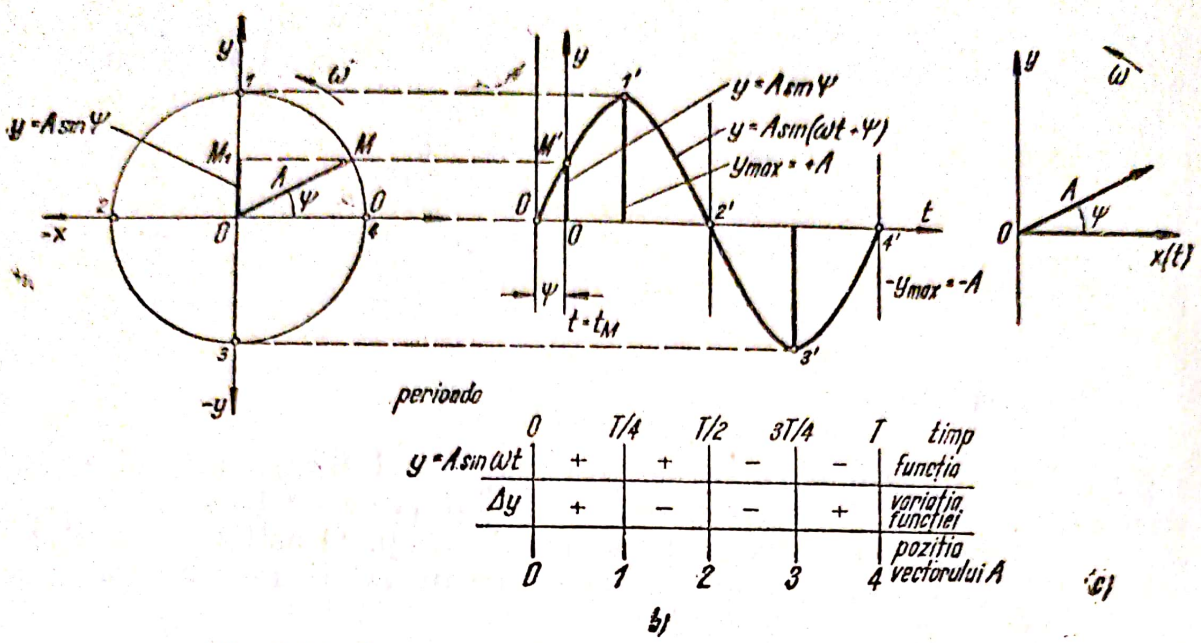


Fig. 2.4.2. Reprezentările unei funcţii periodice de timp:
a — cinematică; *b* — geometrică; *c* — vectorială.

ţială a funcţiei. Diferenţa dintre fazele iniţiale a două funcţii, se numeşte defazare (sau defazaj) (fig. 2.4.3).

$$\varphi = \psi_1 - \psi_2 \qquad (2.4.5)$$

Pentru a determina sensul defazajului φ, ne referim la expresia $y = A \cdot \sin(\omega t - \varphi)$, cînd pentru $\varphi > 0$, funcţia $y_2 = A \sin [\omega t - (+\varphi)]$, este

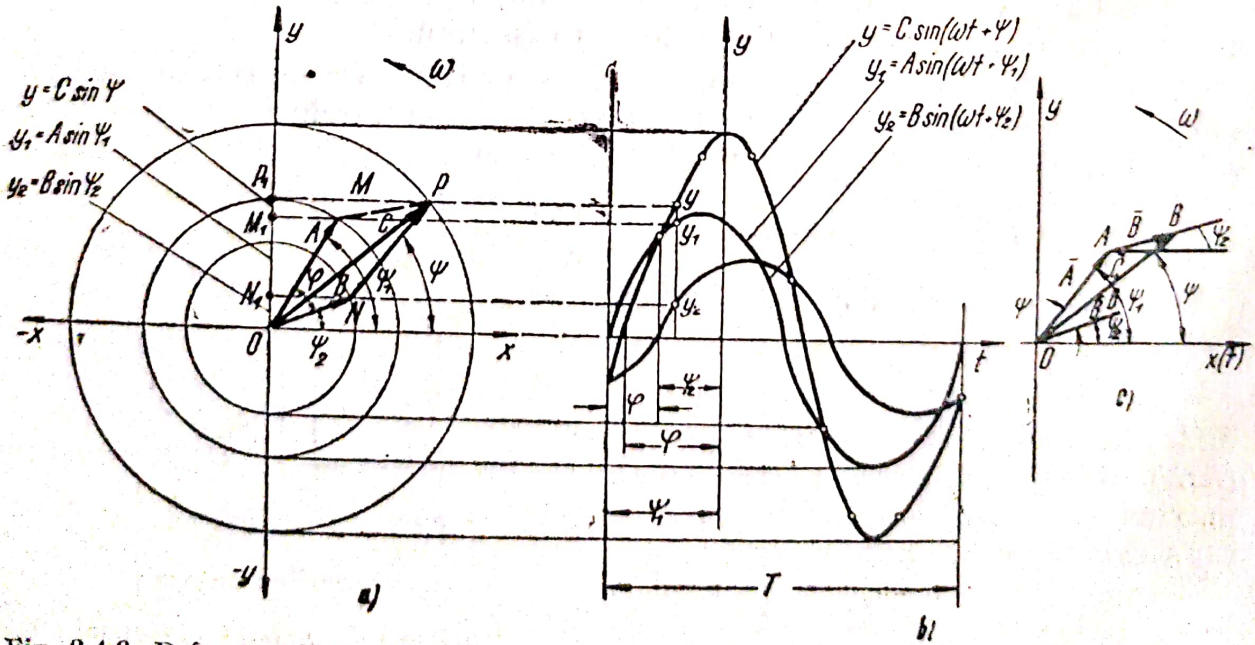


Fig. 2.4.3. Defazarea dintre două funcţii periodice de timp, de aceeaşi frecvenţă şi adunarea lor, în reprezentare:
a — cinematică; *b* — geometrică; *c* — vectorială

defazată în urma funcției y_1, iar pentru $\varphi < 0$, funcția $y_2 = A \sin [\omega t - (-\varphi)] = A \sin (\omega t + \varphi)$, este defazată înaintea funcției y_1.

Funcțiile sinusoidale se pot reprezenta grafic, astfel: *a. În reprezentarea cinematică* (cu vectori rotitori), valoarea instantanee a funcției sinusoidale se obține prin proiecția unui vector $\overline{OM} = \bar{A}$, care se rotește cu viteza unghiulară ω, pe ordonata unui sistem de coordonate, al cărui centru coincide cu originea vectorului rotitor și cu centrul cercului descris de extremitatea sa (fig. 2.4.2. *a*):

$$y = O_a \cdot M_1 = A \sin [\omega t + \varphi); \quad y = (A \sin \psi)_t = 0 \qquad (2.4.6)$$

Funcțiile de aceeași frecvență $y_1 = A \cdot \sin (\omega t + \psi_1)$ și $y_2 = B \cdot \sin (\omega t + \psi_2)$, defazate între ele cu unghiul $\varphi = \psi_1 - \psi_2$, se adună geometric, dînd funcția rezultantă $y = C \cdot \sin (\omega t + \psi)$ (fig. 2.4.3.a), care are următoarea expresie analitică

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \varphi} \qquad (2.4.7)$$

Totalitatea vectorilor care reprezintă mărimi sinusoidale de aceeași frecvență, care verifică ecuația unui circuit de curent alternativ, constituie o diagramă vectorială. În reprezentarea cinematică, vectorii avînd aceeași viteză unghiulară ω, poziția lor relativă rămîne aceeași.

b. Reprezentarea polară (cu vectori ficși), constituie o simplificare a reprezentării cinematice, presupunînd vectorii imobili și luînd unul din vectori, sau o axă arbitrară (Ox), ca origine de fază, față de care se orientează ceilalți vectori, unghiurile de defazare pozitive luîndu-se în sens trigonometric, cele negative în sens invers (fig. 2.4.2.c). Această reprezentare dă amplitudinile și fazele relative ale funcțiilor, dar nu dă valorile lor instantanee, decît printr-o trecere la reprezentarea cinematică, aceasta din urmă fiind avantajoasă în cazul însumării mai multor funcții.

În cazul a două funcții sinusoidale, reprezentarea prin vectorii A, B, a căror fază se ia în funcție de axa de referință Ox, arbitrar aleasă și considerată ca origine de fază, ținîndu-se sema de sensul pozitiv al unghiurilor, dat de ω, funcția rezultantă C, se află prin însumarea vectorială a funcțiilor componente, $C = A + B$, valoarea momentană a ei fiind

$$y = y_1 + y_2; \; C \sin(\omega t + \psi) = A \sin(\omega t + \psi_1) + B \sin (\omega t + \psi_2) \quad (2.4.8)$$

c. *Reprezentarea geometrică* a unei funcții sinusoidale de timp, se obține desfășurînd mișcarea de rotație a vectorului rotitor după o axă de timp, ceea ce se obține trasînd valorile instantanee ale funcției pe axa timpului t, obținîndu-se astfel o sinusoidală (fig. 2.4.2.b).

Adunarea a două funcții sinusoidale, se obține prin însumarea algebrică a valorilor momentane ale lor. Cînd funcțiile componente au aceeași frecvență ω, funcția rezultantă este sinusoidală, au aceeași frecvență ω, faza ei inițială ψ, fiind funcție de fazele inițiale ψ_1, ψ_2 ale componentelor (fig. 2.4.3.b; relația 2.4.8). Cînd se adună două funcții cu frecvențe dife-

Scanned with OKEN Scanner

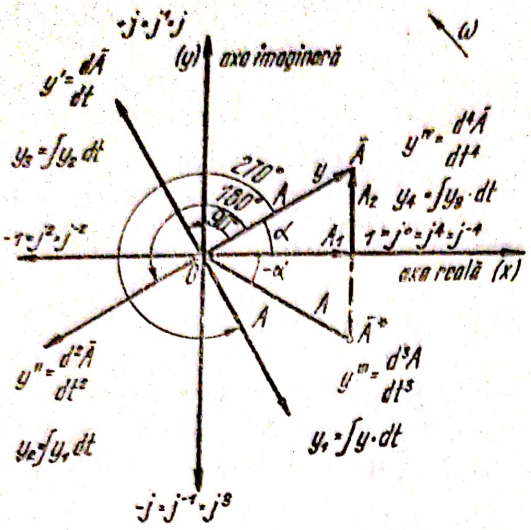


Fig. 2.4.4. Reprezentarea simbolică (complexă) a unei funcţii sinusoidale de timp $y = A \sin \omega t$:
$\bar{A}^*$ — vectorul conjugat al vectorului $\bar{A}$.

rite ω_1, şi, ω_2, funcţia rezultantă are funcţia ω_3 (fig. 2.4.1), valoarea instantanee a rezultantei fiind

$$y_3 = y_1 + y_2\,;\quad C \sin \omega_3 t = A \cdot \sin \omega_1 t + B \cdot \sin \omega_2 t. \qquad (2.4.9)$$

d. *Reprezentarea complexă* (*în complex*) a funcţiilor sinusoidale (metoda simbolică). Diagramele vectoriale, fiind bazate pe metode grafice, nu oferă întotdeauna precizie suficientă, iar la rezolvarea circuitelor ramificate devin complicate. Acest neajuns se poate înlătura prin rezolvarea problemelor pe cale analitică, utilizînd ca mijloc de exprimare matematic metoda simbolică, bazată pe folosirea mărimilor complexe, îmbinată cu construcţii grafice, în planul complex a lui Gauss.

O funcţie sinusoidală de timp, se poate reprezenta printr-un număr complex (ca funcţie de variabilă complexă), care constă din suma algebrică a unui număr real şi a unuia imaginar, care se poate reprezenta sub forma algebrică, trigonometrică sau exponenţială.

Vectorul $\bar{A}$, exprimat sub forma algebrică, se reprezintă geometric în planul complex (fig. 2.4.4), proiecţiile lui şi expresia sa complexă, fiind

$$A_1 = A \cdot \cos \alpha\,;\quad A_2 = A \sin \alpha\,;\quad \bar{A} = A_1 + jA_2. \qquad (2.4.10)$$

Modulul A al vectorului, care dă mărimea lui, şi argumentul său α, care dă unghiul format de vector cu axa reală pozitivă, sînt :

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}\,;\quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{A_2}{A_1}\,;\quad \alpha = \operatorname{arc\,tg} \frac{A_2}{A_1} \qquad (4.2.11)$$

Mărimea $j = \sqrt{-1}$, este numărul imaginar unitar, care, ridicat la puteri pozitive, reprezintă vectorii unitari rotiţi cu 90° în sens pozitiv ($+\omega$) şi ridicat la puteri negatice, reprezintă vectori unitari rotiţi în sens negativ

Scanned with OKEN Scanner

$(-\omega)$, față de axa reală negativă, deci $\pm j^n$, reprezintă un operator care rotește vectorul pe care îl înmulțește cu $+ n \cdot \pi/2$ față de axa reală pozitivă.

Numerele complexe conjugate au moduli egali și argumente egale, dar de semn contrar (fig. 2.4.4).

$$\bar{A}^* = A_1 - jA_2. \tag{2.4.12}$$

Sub forma trigonometrică, expresiile vectorilor $\bar{A}$ și $\bar{A}^*$ (conjugat) sînt:

$$\bar{A} = A_1 + Aj_2 = A \cos \alpha + jA \sin \alpha = A(\cos \alpha + j \sin \alpha) \tag{2.4.13}$$

$$\bar{A}^* = A_1 - jA_2 = A(\cos\alpha - j \sin \alpha) \tag{2.4.14}$$

Forma exponențială se obține cu ajutorul relațiilor lui Euler

$$\cos \alpha = \frac{e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}}{2}; \quad j \cdot \sin \alpha = \frac{e^{j\alpha} - e^{-j\alpha}}{2} \tag{2.4.15}$$

din forma trigonometrică

$$\bar{A} = A\left(\frac{e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}}{2} + \frac{e^{j\alpha} - e^{-j\alpha}}{2}\right) = Ae^{j\alpha};$$

$$\bar{A}^* = A\left(\frac{e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}}{2} - \frac{e^{j\alpha} - e^{-j\alpha}}{2}\right) = Ae^{-j\alpha} \tag{2.4.16}$$

reprezentarea vectorului sub această formă, fiind cea polară.

Mărimea $e^{j\alpha}$ se numește operator de rotație al vectorului $\bar{A}$ și arată că acesta a fost rotit cu unghiul $+\alpha$, față de axa reală, pozitivă. Unghiul α se exprimă în radiani, exponentul fiind număr adimensional, dar convențional, se exprimă și în grade ($\bar{A} = Ae^{j\pi/8} = A \cdot e^{j \cdot 45°}$).

În reprezentarea în complex nesimplificat, imaginea în complex a mărimii sinusodiale i este o funcție complexă de timp, avînd modulul constant și egal cu amplitudinea mărimii sinusoidale și argumentul egal cu faza mărimii sinusoidale[1]

$$i = I\sqrt{2} \sin(\omega t + \psi) \leftrightarrows I\sqrt{2} \cdot e^{j(\omega t + \Psi)}. \tag{2.4.17}$$

Această imagine se mai numește valoarea instantanee complexă a lui i, care se mai notează cu simbolul grafic barat (sau subliniat) al valorii instantanee a mărimii sinusoidale

$$I\sqrt{2} \cdot e^{j(\omega t + \psi)} = \bar{i}. \tag{2.4.18}$$

[1] În această relație $I\sqrt{2}$ este amplitudinea mărimii sinusoidale reprezentată în funcție de valoarea „efectivă" a sa I, care se va defini în paragraful 2.4.2.

Scanned with OKEN Scanner

În reprezentarea în complex simplificat, imaginea în complex a mărimii sinusoidale i este un număr complex constant, avînd modulul egal cu valoarea efectivă a mărimii și argumentul egal cu faza inițială a mărimii

$$i = I\sqrt{2}\sin(\omega t + \psi) \leftrightarrows I \cdot e^{j\cdot\psi}. \tag{2.4.19}$$

Această imagine se mai numește valoarea efectivă complexă a lui i și se notează cu simbolul majuscul barat (sau subliniat) a lui i

$$I \cdot e^{j\psi} = \bar{I}. \tag{2.4.20}$$

Adunarea mărimilor sinusoidale corespunde adunării imaginilor lor în complex

$$\bar{A} + \bar{B} = \bar{C}; \quad (a_1 + ja_2) + (b_1 + jb_2) = (a_1 + b_1) + \\ + j(a_2 + b_2) = c_1 + jc_2. \tag{2.4.21}$$

Amplificarea unei mărimi sinusoidale cu un scalar real corespunde cu înmulțirea imaginii cu acel scalar.

$$k\bar{A} = K \cdot A \cdot e^{j\psi}. \tag{2.4.22}$$

Derivarea unei mărimi sinusoidale în raport cu timpul, se traduce prin înmulțirea imaginii ei în complex cu numărul jω.

$$\frac{d\bar{A}}{dt} = j \cdot \omega \cdot \bar{A} = j \cdot \omega \cdot A \cdot e^{j\psi}. \tag{2.4.23}$$

Integrarea în timp a unei mărimi sinusoidale se traduce prin împărțirea ei în complex cu numărul imaginar jω.

$$\int \bar{A} \cdot dt = \frac{A}{j\omega} e^{j\psi}. \tag{2.4.24}$$

În figura (2.4.4), sînt reprezentați vectorii care rezultă prin diferențierea și integrarea funcției de variabilă complexă $y = A = Ae^{j(\omega t+\psi)}$, (considerînd unghiul $\alpha = \omega t + \psi$), diferențiala de ordinul n, fiind un vector defazat înaintea funcției primitive cu un unghi corespunzător lui j^n, iar integrala de ordinul n, fiind un vector decalat în urma funcției primitive cu un unghi corespunzător lui j^{-n}.

$$\left.\begin{aligned} y^1 = \frac{d\bar{A}}{dt} &= j\omega \cdot A \cdot e^{j(\omega t+\psi)} = j \cdot w \cdot \bar{A} \\ y^n &= \frac{d^n A}{dt^n} = j^n \cdot \omega^n \cdot A. \end{aligned}\right\} \tag{2.4.25}$$

$$\left.\begin{aligned} y_1 = \int y\,dt = \int \bar{A}\,dt &= \frac{1}{j\omega} \cdot A \cdot e^{j(\omega t+\psi)} = -j\frac{\bar{A}}{\omega} \\ y_n &= \int y_{n-1} \cdot dt = -j \cdot \frac{n\bar{A}}{\omega^n} \end{aligned}\right\} \tag{2.4.26}$$

Scanned with OKEN Scanner

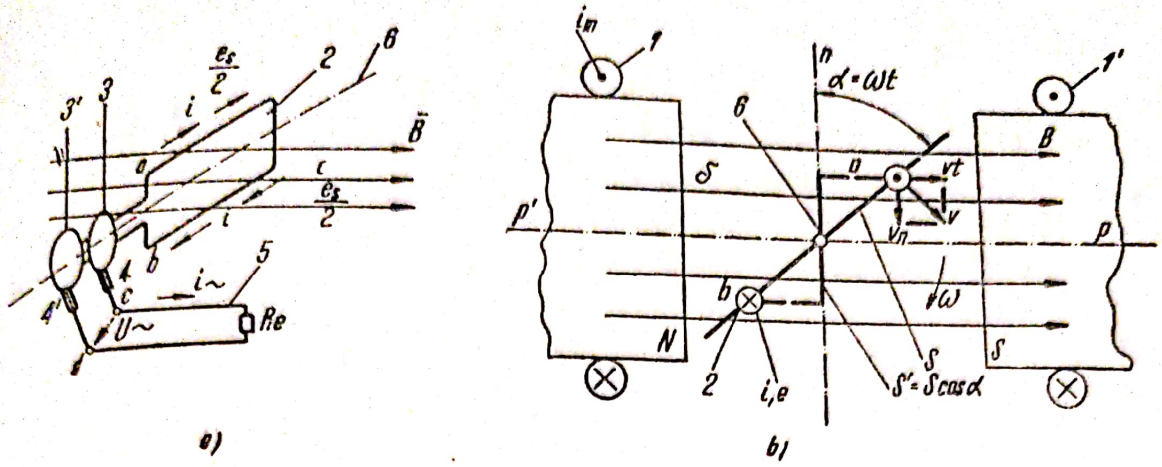


Fig. 2.4.5. Principiul de producere a f.e.m. alternative:
a — vedere în perspectivă; *b* — schema de principiu; *1* — bobină de magnetizare (inductor); i_m — curent continuu de magnetizare; *2* — spiră (indus) care se rotește în cîmpul magnetic $\bar{B}$, cu viteza $v(\omega)$; *3, 3'* — inele colectoare; *4, 4'* — perii; *5* — circuit exterior cu rezistența R; *6* — axa bobinei; *c, d* — bornele generatorului.

2.4.2. **Generarea tensiunii electromotoare alternative.** Tensiunea electromotoare alternativă se produce cu ajutorul generatoarelor rotative, pe baza fenomenului inducției electromagnetice, așa după cum se arată în schema de principiu din figura 2.4.5.

Bobina *a b*, cu w spire, se rotește în cîmpul magnetic uniform B (produs de curentul de magnetizare i_m), în întrefierul δ al unui circuit magnetic din ferosiliciu, unde are loc transformarea energiei mecanice, de antrenare a bobinei, în energie electrică. Extremitățile sînt legate de două inele colectoare, pe care glisează două perii, care formează bornele generatorului.

Considerînd o spiră care se rotește, cu viteza liniară v (sau unghiulară ω), în cîmpul magnetic uniform, în conductorii *a b* ai ei, se induc t.e.m. $e_s/2$, care se adună, conductorii bobinei fiind legați în serie, obținîndu-se astfel t.e.m. e_s a unei spire, al cărei sens se determină cu regula mîinii drepte, pentru a cărei aplicare se folosește componenta normală pe cîmp v_n, a vitezei tangențiale v. T.e.m. a bobinei cu w spire legate în serie, este

$$e = \Sigma e_s = W \cdot e_s \tag{2.4.27}$$

Luînd ca origine de fază axa neutră *nn'*, perpendiculară pe axa polilor *pp'*, valoarea momentană a fluxului *prin spiră* corespunzătoare unghiului de rotire $\alpha = \omega t$ al bobinei este

$$\Phi = W \cdot \Phi_m \cos \omega t. \tag{2.4.28}$$

unde Φ_m este fluxul maxim prin spiră (la $\alpha = 0$). Valoarea momentană a t.e.m. indusă în bobină, este

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt} = -W \cdot \omega \Phi_{max} (-\sin \omega t) = W \cdot \omega \cdot \Phi_m \cdot \sin \omega t \tag{2.4.29}$$

$$e = W \cdot 2\pi \cdot f \cdot \Phi_m \cdot \sin \omega t = E_m \cdot \sin \omega t. \tag{2.4.30}$$

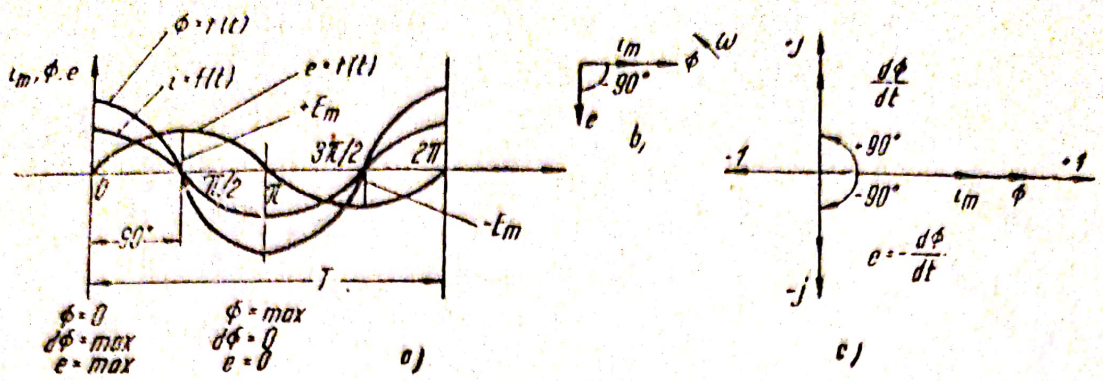


Fig. 2.4.6. Diagrama i_m, e, Φ, în funcţie de timp:
a — reprezentarea geometrică; *b* — reprezentare vectorială (luînd vectorul fluxului Φ ca origine de fază); *c* — reprezentare complexă.

unde E_m este amplitudinea maximă a t.e.m. e. Fluxul este în fază cu curentul de magnetizare, iar t.e.m. este defazată cu 90° în urma fluxului (fig. 2.4.6).

Frecvenţa t.e.m. induse este în funcţie de viteza de rotaţie a spirei (n rot/min) şi de numărul de perechi de poli p (numărul polilor fiind $2p$) ai inductorului, ştiind că trecerea spirei de sub un pol sub polul imediat următor de acelaşi nume, corespunde unei perioade a t.e.m. induse, (360° electrice). Pentru o pereche de poli ($p = 1$), o perioadă e realizată la rotirea spirei cu 360° geometrice (fig. 2.4.7. a); pentru două perechi de poli ($p = 2$), o perioadă e realizată la rotirea spirei cu 180° geometrice (fig. 2.4.7.b). Viteza unghiulară a spirei pentru o frecvenţă $f = p \cdot n/60$, şi frecvenţa industrială de 50 Hz, este

$$= 2\pi \cdot f = 2\pi \frac{pn}{60}; \quad \omega_{50} = 2\pi \cdot 50 = 314 \quad [\text{rad/s}]. \qquad (2.4.31)$$

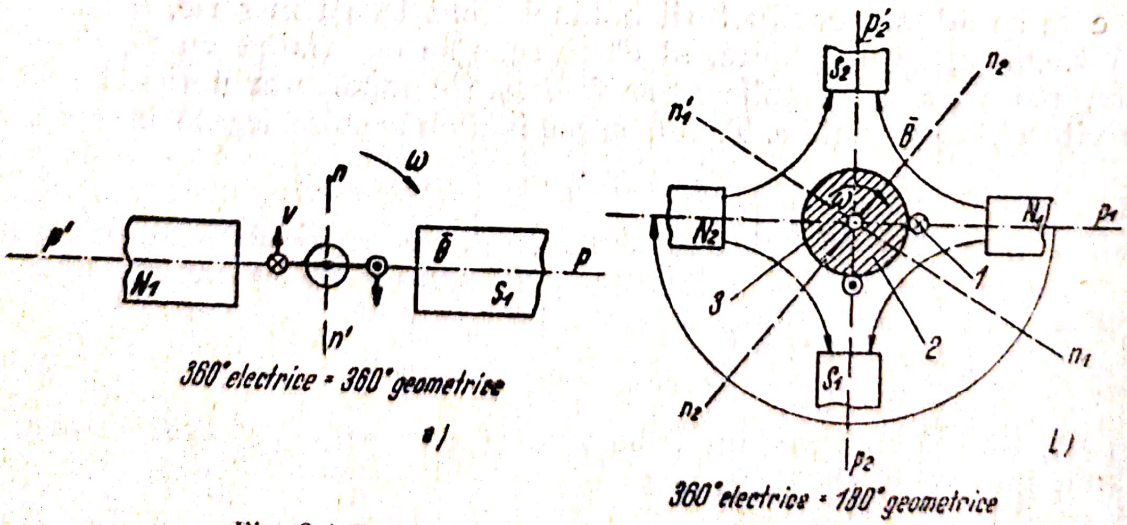


Fig. 2.4.7. Bobină mobilă în cîmpul magnetic:
a — produs de o pereche de poli; *b* — produs de două perechi de poli; *1* — bobină; *2* — rotor din ferosiliciu; *3* — axa rotorului.

Curenții și tensiunile care apar în circuitele unde acționează o t.e.m. alternativă, sînt mărimi alternative care se exprimă prin funcții sinusoidale de timp, valorile lor instantanee fiind date de relațiile

$$i = Im \cdot \sin(\omega t + \psi_1); \quad u = U_m \sin(\omega t + \psi_2) \qquad (2.4.32)$$

unde I_m și U_m, sînt valori maxime.

Valoarea medie a intensității curentului alternativ, I_{med}, este dată de raportul dintre sarcina electrică $q = \int_0^{T/2} i\,dt$, transportată într-o semiperioadă (alternanță) prin secțiunea transversală a unui conductor și durata $T/2$ a alternanței respective (fig. 2.4.8). Valoarea medie nu se ia pentru o perioadă, deoarece sarcina electrică transportată într-un sens al alternanței pozitive, e transportată în sens contrar, la cea negativă, astfel că pentru o perioadă, valoarea medie a intensității este egală cu zero

$$I_{med} = \frac{1}{T}\int_0^T \cdot\, i\ dt = 0.$$

Suprafața s, egală cu sarcina electrică transportată într-o semiperioadă, se înlocuiește cu suprafața s', egală cu ea, avînd ca bază $T/2 = \pi$ radiani și ca înălțime valoarea medie I_{med}, astfel că se poate scrie relația

$$I_{med} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} i\ dt;\ I_{med} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} I_m \sin \omega t \cdot dt = \frac{2I_m}{T}\Big| - \cos \omega t\Big|_0^{T/2} = \frac{2}{\pi} I_m \qquad (2.4.33)$$

În mod analog se obțin valorile medii

$$E_{med} = \frac{2}{\pi} E_m; \quad U_{med} = \frac{2}{\pi} \cdot U_m. \qquad (2.4.34)$$

Prin valoarea efectivă (eficace) a unui curent alternativ (I), stabilită pe baza efectului său termic, se înțelege intensitatea echivalentă a unui curent

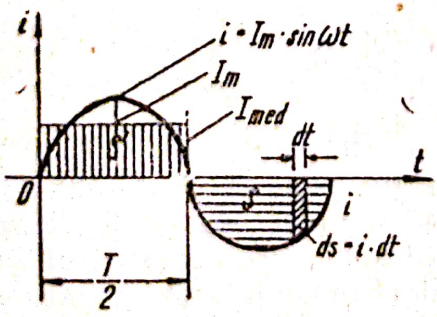


Fig. 2.4.8. Interpretarea geometrică a valorii medii a curentului alternativ.

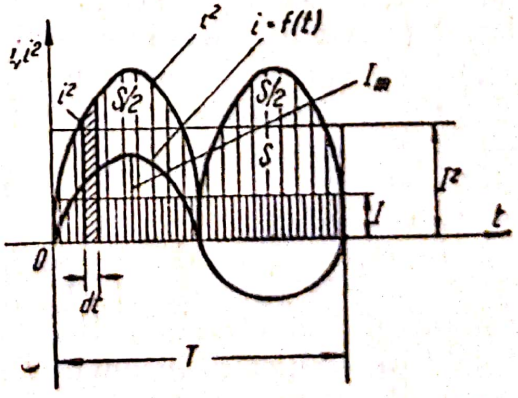


Fig. 2.4.9. Interpretarea geometrică a valorii efective a curentului alternativ.

continuu care, parcurgînd aceeaşi rezistenţă electrică r ca şi curentul alternativ, produce, într-un interval de timp egal, aceeaşi cantitate de căldură ca şi curentul alternativ considerat. Valoarea efectivă se consideră pentru o perioadă, deoarece efectul termic al curentului este acelaşi indiferent de sensul curentului prin rezistenţă (fig. 2.4.9).

Conform definiţiei se poate scrie

$$I^2 r \cdot T = \int_0^T i^2 \cdot r \cdot \mathrm{d}t; \quad I^2 = \frac{1}{T}\int_0^T I_m^2 \cdot \sin \omega t \cdot \mathrm{d}t = \frac{I_m^2}{T}\int_0^T \frac{1-\cos 2\omega t}{2}\mathrm{d}t$$

$$I^2 = \frac{I_m^2}{2T}|t|_0^T = \frac{I_m^2}{2}; \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707 I_m. \tag{2.4.35}$$

În mod analog se obţin valorile

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}; \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Rap ortul

$$k_f = \frac{E}{E_{med}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} : \quad \left[\frac{2}{\pi} \cdot E_m\right] = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1{,}11. \tag{2.4.36}$$

se numeşte factor de formă (în cazul acesta, pentru o sinusoidă). Cu ajutorul lui, se poate exprima valoarea efectivă a unei t.e.m. în funcţie de valoarea maximă a fluxului care o induce:

$$E = K_f \cdot E_{med} = K_f \cdot \frac{Z}{\pi} \cdot E_m = K_f \frac{2}{\pi} \cdot 2\pi \cdot f \cdot W \cdot \Phi_m = 4{,}44 \cdot w \cdot f \cdot \Phi_m. \tag{2.4.37}$$

Instrumentele de măsură uzuale, folosite în curent alternativ, indică, în general, valori efective ale mărimilor electrice.

2.4.3. **Circuite de curent alternativ.** Parametrii care caracterizează circuitele electrice de curent alternativ sînt: rezistenţa R, inductanţele L, M şi capacitatea C, concentraţi în cea mai mare parte în consumatori rezistivi (rezistenţa R), inductivi (bobine L, M) şi capacitivi (condensatoare C) şi repartizaţi de-a lungul circuitului.

În curent continuu, parametrii L, M, C, apar numai în regim tranzitoriu, în regim normal existînd numai parametrul R, corespunzător transformării energiei electrice în energie termică.

În curent alternativ (care este variabil în timp) parametrii R, L, C, există în regim normal de funcţionare (iar în cazul interacţiunii a două bobine apare şi parametrul M), datorită fenomenelor legate de transformarea energiei electromagnetice în energie termică, în energie a cîmpului magnetic în bobine şi în energie a cîmpului electric în condensator.

Neglijînd curenţii capacitivi, presupunînd parametrii invariabili în funcţie de curentul şi tensiunea din circuit (liniari) şi considerînd că fiecare parametru este concentrat într-un receptor, se obţine un circuit de curent alternativ liniar, cu parametrii concentraţi (fig. 2.4.10).

Scanned with OKEN Scanner

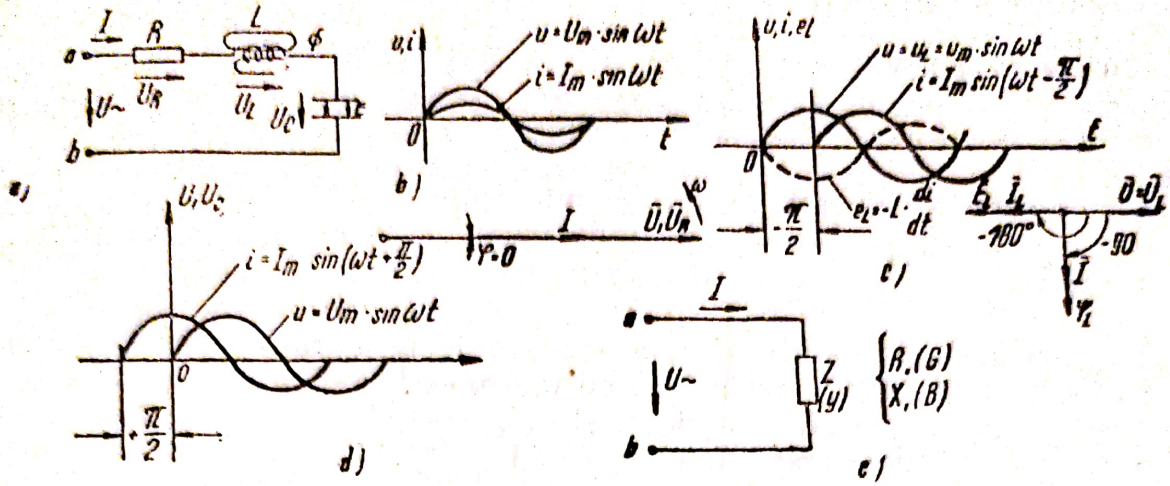


Fig. 2.4.10.

a — Circuit de curent alternativ *R L C* serie cu parametrii concentrați; *b* — diagrama vectorială a tensiunii și intensității în cazul unui circuit cu rezistență *R*; *c* — diagrama vectorială a tensiunii și a intensității în cazul unui circuit cu inductanță *L*; *d* — diagrama vectorială a tensiunii și intensității în cazul unui circuit cu capacitate *C*; *e* — circuit de curent alternativ cu impedanță *Z*.

La calculul circuitelor electrice de curent alternativ, se aleg sensurile pozitive ale mărimilor electrice, a căror valori instantanee sînt pozitive, dacă sensurile lor momentane coincid cu sensurile pozitive alese. În aceste circuite, sînt valabile legea lui Ohm și teoremele lui Kirchhoff, scrise vectorial sau pentru valori instantanee.

În cele ce urmează, se vor examina pe scurt, caracteristicile unor circuite de curent alternativ simple, liniare și pasive, cărora li se aplică tensiunea la borne sinusoidală (luată după convenția de asociere a sensurilor de referință la receptoare) $u = U_m \cdot \sin \omega t$.

La trecerea curentului electric i prin circuit, apar căderile de tensiune: u_r — rezistivă; u_L — inductivă; u_c — capacitivă. Sensurile lor sînt aceleași cu ale curentului din circuit.

a. Circuit cu rezistență (rezistiv, circuit R) (fig. 2.4.10). Parametrul circuitului este rezistența concentrată în receptorul R ($L = C = 0$), în care energia electrică absorbită se transformă în căldură.

Curentul în circuit este dat de raportul dintre tensiune și rezistență. În valori instantanee avem

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cdot \sin \omega t}{R} = I \sin \omega t. \qquad (2.4.38)$$

În valori maxime și efective, avem relațiile

$$I_m = \frac{U_m}{R}; \quad I = \frac{U}{R}. \qquad (2.4.39)$$

În complex avem

$$\bar{i} = \frac{\bar{u}}{R} = \frac{U\sqrt{2}}{R} e^{j\omega t} = I\sqrt{2} \cdot e^{j\omega t} \qquad (2.4.40)$$

de unde rezultă valoarea efectivă a curentului

$$I = \frac{U}{R} \qquad (2.4.41)$$

În concluzie, curentul printr-o rezistenţă, la bornele căreia se aplică o tensiune alternativă, este în fază cu tensiunea, valoarea sa efectivă fiind proporţională cu a tensiunii aplicate şi independentă de frecvenţă.

b. Circuit cu inductanţă (circuit L) (fig. 2.4.10). Parametrul circuitului este inductanţa, concentrată în bobina L ($R = C = 0$), în care energia electrică absorbită se transformă în energie a cîmpului magnetic (neglijînd energia transformată în căldură, datorită rezistenţei R_L a bobinei). Datorită fenomenului de inducţie proprie, în bobină se induce f.e.m. de inducţie proprie e_L. La trecerea curentului i prin bobină, se produce căderea de tensiune inductivă u_L. În acest circuit se pot scrie următoarele relaţii

$$-u + u_L = 0; \quad u = u_L = -e_L \cdot u = -e_L = L\frac{di}{dt}. \qquad (2.4.42)$$

Din ecuaţia diferenţială a circuitului, se află curentul i

$$i = \frac{1}{L}\int u\, dt = \frac{1}{L}\int U_m \sin \omega t\, dt = \frac{U_m}{\omega L} \cos \omega t = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \qquad (2.4.43)$$

Mărimea

$$X_L = \omega L = 2\pi \cdot f \cdot L \qquad [\Omega] \qquad (2.4.44)$$

se numeşte reactanţă inductivă şi se măsoară în ohmi. Ea acţionează ca o rezistenţă limitînd valoarea curentului în circuit, a cărui expresie, în valori efective, este:

$$I = \frac{U}{X_L} \qquad [A] \qquad (2.4.45)$$

În mărimi complexe, relaţiile precedente devin:

$$\bar{U} = L\frac{d\bar{I}}{dt} = L\frac{d}{dt}(Ie^{j\omega t}) = j\omega LIe^{j\omega t} = jX_L\bar{I} \qquad (2.4.46)$$

$$\bar{I} = \frac{U}{j\omega L} = -j\frac{\bar{U}}{X_L} \qquad (2.4.47)$$

Din cele expuse, rezultă că în circuitul inductiv, curentul este defazat în urma tensiunii aplicate cu 90° şi are valoarea efectivă proporţională cu a tensiunii şi invers proporţională cu frecvenţa (fig. 2.4.10).

Scanned with OKEN Scanner

c. Circuit cu capacitate (circuit C) (fig. 2.4.10). Neglijînd inductanța și rezistența condensatorului și a circuitului ($R = L = 0$), parametrul circuitului este capacitatea, concentrată în condensatorul C, în care energia electrică absorbită, se transformă în energie a cîmpului electric. Curentul i produce căderea de tensiune U_c prin condensator.

Cînd tensiunea la bornele condensatorului variază cu du în interval de timp dt, sarcina electrică a condensatorului variază cu dq. Pe baza celor expuse, se pot stabili relațiile:

$$-u + u_c = 0\,; \quad u = u_c\,; \quad dq = C \cdot du = i \cdot dt. \tag{2.4.48}$$

de unde rezultă ecuația diferențială a circuitului, prin a cărei rezolvare se obține curentul i în circuit.

$$i = C\frac{du}{dt} = C\frac{d}{dt}(U_m \sin \omega t) = C\omega\, U_m \cos \omega t = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega c}} \cdot \cos \omega t = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \tag{2.4.49}$$

Mărimea

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \qquad [\Omega] \tag{2.4.50}$$

se numește reactanță capacitivă și se măsoară în ohmi. Ea acționează tot ca o rezistență limitînd valoarea curentului în circuit, a cărui expresie, în valori efective, este:

$$I = \frac{U}{X_C} \qquad [\mathrm{A}] \tag{2.4.51}$$

În mărimi complexe, relațiile precedente devin

$$\bar{I} = C\frac{du}{dt} = C\frac{d}{dt}(U e^{j\omega t}) = j\omega C U e^{j\omega t} = j\omega C \bar{U} = j\frac{U}{X_C} \tag{2.4.52}$$

$$\bar{U} = \frac{\bar{I}}{j} \cdot X_C = -j\frac{\bar{I}}{\omega C} \tag{2.4.53}$$

Din cele expuse, rezultă că în circuitul capacitiv, curentul este defazat cu 90° înaintea tensiunii aplicate condensatorului (egală și în fază cu tensiunea de borne a circuitului) și are valoarea efectivă proporțională cu a tensiunii și proporțională cu frecvența.

d) Circuitul de curent alternativ R, L, C serie, se obține prin legarea în serie a receptorilor rezistivi, inductivi și capacitivi, studiați anterior (fig. 2.4.10). Ecuația circuitului, scrisă pe baza teoremei a doua a lui Kirchhoff, în valori instantanee și în complex, este:

$$u = u_R + u_L + u_C = R \cdot i + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i \cdot dt \tag{2.4.54}$$

Înlocuind curentul cu valoarea sa complexă

$$\bar{I} = Ie^{j(\omega t - \varphi)} \tag{2.4.55}$$

unde φ este unghiul de defazare dintre tensiunea de borne şi curentul din circuit (fig. 2.4.10), şi ţinînd cont de regulile de transcriere în complex, relaţia 2. 4. 54., se scrie:

$$\bar{U} = \bar{I}R + j\omega L\bar{I} - \frac{j}{\omega C}I = I\left[R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)\right] = \\ = I[R + j(X_L + X_C)] = I \cdot Z \tag{2.4.56}$$

Relaţia

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} \tag{2.4.57}$$

unde avem

$$\bar{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j(X_L - X_C) = R + jX = Z \cdot e^{j\varphi} \tag{2.4.58}$$

exprimă legea lui Ohm în curent alternativ (în complex).

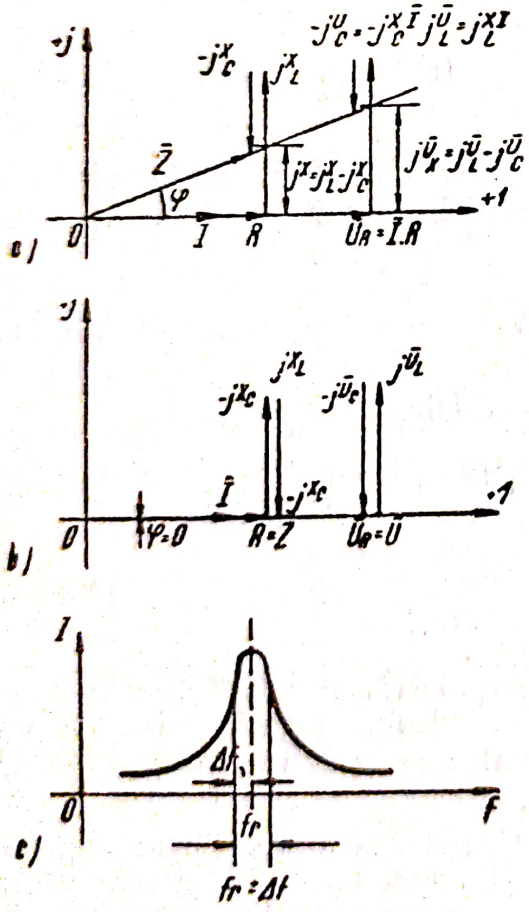


Fig. 2.4.11. Circuit *RLC* serie:
a — diagramele impedanţei şi a tensiunii; *b* — diagramele impedanţei şi a tensiunii la rezonanţă; *c* — variaţia curentului în funcţie de frecvenţă, la rezonanţă.

Mărimea $\bar{Z}$ se numeşte impedanţa complexă a circuitului. Are ca unitate de măsură ohmul, iar diagrama sa vectorială numită şi triunghiul impedanţei (fig. 2.4.11) se construieşte pe baza ecuaţiei (2.4.58), luînd ca origine de fază rezistenţa R (care este în fază cu curentul), faţă de care impedanţa (care este în fază cu tensiunea) este defazată cu unghiul φ, dat de relaţiile:

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}\ ;\ \sin\varphi = \frac{X}{Z}\ ;\ \operatorname{tg}\varphi = \frac{X}{R} \tag{2.4.59}$$

Valoarea numerică a impedanţei este dată de relaţia

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \\ = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}\quad [\Omega] \tag{2.4.60}$$

Diagrama tensiunilor (fig. 2.4.11) se construieşte pe baza ecuaţiei (2.4.56) luîndu-se ca origine de fază curentul I din circuit. În funcţie de valorile reac-

tanțelor circuitul poate avea caracter inductiv, capacitiv sau este circuit cu rezonanță de tensiune (serie), atunci cînd reactanțele sînt egale ($X_L = X_C$) și fiind opuse, se anulează; astfel că circuitul are caracter ohmic; impedanța fiind minimă, $Z = Z_{min} = R$, curentul este maxim iar în circuit pot să apară căderi de tensiuni inductive U_L și capacitive U_C mai mari decît tensiunea de borne U (fig. 2.4.11).

Frecvența de rezonanță se află din condiția de egalitate a reactanțelor

$$\omega L = \frac{1}{\omega C};\ \omega = 2\pi f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}};\ f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}] \qquad (2.4.61)$$

Circuitele cu rezonanță de tensiune se folosesc ca filtre electrice pentru a întări o bandă de frecvență $f_r \pm \Delta f$ față de alte frecvențe (fig. 2.4.11)

Pe baza expunerii anterioare se mai pot face următoarele observații

Mărimea $U_R = U\cos\varphi$ se numește cădere de tensiune rezistivă.

Ea formează componenta activă a tensiunii aplicate U și corespunde transformării energiei electrice în căldură sau în lucru mecanic, în rezistența din circuit.

Mărimea $U_x = U_L - U_C = U\sin\varphi$, rezultă din diferența dintre căderea de tensiune inductivă U_L și cea capacitivă U_C. Ea formează componenta reactivă a tensiunii de borne U și corespunde transformării energiei electrice în energie a cîmpului magnetic (în bobină) și în energie a cîmpului electric (în condensator).

Amintim că prin determinarea impedanței, circuitul serie R, L, C poate fi înlocuit cu un circuit echivalent, avînd un singur receptor, cu impedanța Z (fig. 2.4.10. h).

e) Circuitul de curent alternativ R, L, C paralel, se obține legînd receptorii studiați anterior, în paralel (fig. 2.4.12). Pe baza teoremei întîi a lui Kirchhoff, se poate scrie ecuația diferențială a circuitului în valori instantanee

$$i = i_R + i_L + i_C = \frac{u}{R} + \frac{\psi_L}{L} + \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = \frac{u}{R} + \frac{1}{L}\int u\,\mathrm{d}t + C\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$$

sau sub forma complexă

$$\bar{I} = \bar{I}_R + \bar{I}_L + \bar{I}_C = \frac{\bar{U}}{R} - \mathrm{j}\frac{\bar{U}}{\omega L} + \mathrm{j}\omega C\bar{U}$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{R} - \mathrm{j}\frac{\bar{U}}{\omega L} + \mathrm{j}\frac{\bar{U}}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{\bar{U}}{R} - \mathrm{j}\frac{\bar{U}}{X_L} + \mathrm{j}\frac{\bar{U}}{X_L} = \bar{U}_g - \mathrm{j}B_L\bar{U} + \mathrm{j}B_C\bar{U} \qquad (2.4.62)$$

$$\bar{I} = \bar{U}[G + \mathrm{j}(B_C - B_L)] = \bar{U}(G + \mathrm{j}B) = \bar{U}\cdot\bar{Y} \qquad (2.4.63)$$

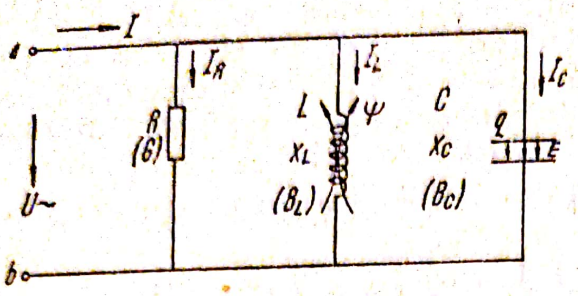


Fig. 2.4.12. Circuit de curent alternativ *R, L, C*, paralel.

Parametrii circuitului care intervin în această relaţie

$$\text{conductanţa } G = \frac{1}{R} = \frac{R}{Z^2} \qquad \left[\frac{1}{\Omega}\right] \tag{2.4.64}$$

$$\text{susceptanţa inductivă } B_L = \frac{1}{X_L} \qquad \left[\frac{1}{\Omega}\right] \tag{2.4.65}$$

$$\text{susceptanţa capacitivă } B_C = \frac{1}{X_C} \qquad \left[\frac{1}{\Omega}\right] \tag{2.4.66}$$

$$\text{susceptanţa totală } B = B_C - B_L = \frac{1}{X} = \frac{1}{X_L - X_C} = \frac{X}{Z^2} \qquad \left[\frac{1}{\Omega}\right] \tag{2.4.67}$$

$$\text{admitanţa complexă } \bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}} = G + \mathrm{j}(B_C - B_L) = G + \mathrm{j}B \qquad \left[\frac{1}{\Omega}\right] \tag{2.4.68}$$

Diagrama admitanţei (fig. 2.4.13) se construieşte pe baza ecuaţiei (2.4.68) luînd ca origine de fază conductanţa G (care este în fază cu tensiunea), faţă de care admitanţa (care este în fază cu curentul), este defazată cu unghiul φ, dat de relaţiile:

$$\cos_2 = \frac{G}{Y}; \quad \sin\varphi = \frac{B}{Y}; \quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{B}{G} \tag{2.4.69}$$

Expresia admitanţei complexe şi valoarea sa numerică sînt:

$$\bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}} = \frac{1}{Ze^{\mathrm{j}\varphi}} = Y \cdot e^{-\mathrm{j}\varphi}; \quad Y = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2} = \tag{2.4.70}$$

$$= \sqrt{G^2 + B^2}$$

Diagrama curenţilor (fig. 2.4.13) se construieşte pe baza ecuaţiei (2.4.62), luîndu-se ca origine de fază tensiunea U aplicată circuitului. În funcţie de valorile susceptanţelor, circuitul poate avea caracter inductiv, capacitiv sau este circuit cu rezonanţă de curent (paralel), atunci cînd susceptanţele sînt egale ($B_L = B_C$) şi fiind opuse se anulează, astfel încît circuitul

are caracter rezistiv ; admitanța lui fiind minimă, iar impedanța maximă, $Z = Z_{max} = R$, curentul în circuit este minim, iar în ramificații pot să apară curenți mai mari decît curentul neramificat (fig. 2.4.13). Frecvența de rezonanță f_r, este dată de relația (2.4.61).

Circuitele cu rezonanță de curent, se folosesc ca filtre electrice, pentru a elimina o anumită bandă de frecvență $(f_r \pm \Delta f)$ în jurul frecvenței de rezonanță f_r (fig. 2.4.13).

Amintim că mărimea $I_R = I \cdot \cos \varphi$, numită curent activ sau curent watat, formează componenta activă a curentului I din circuit (produce lucru mecanic).

Mărimea $I_X = I_C - I_L = I \sin \varphi$, numită curent reactiv sau dewatat, formează componenta reactivă a curentului. Ea nu produce lucru mecanic și se transformă în energie a cîmpului magnetic (în bobine) sau în energie a cîmpului electric (în condensator). Cu cît crește unghiul φ, crește componenta reactivă, și cu aceasta curentul total I, pe linia de transport a energiei electrice care alimentează receptorul Z, componenta activă rămînînd neschimbată. Mărimea $\cos \varphi$, numită factor de putere, caracterizează o instalație electrică din punct de vedere al transformării energiei electrice absorbite, în energie activă (căldură, lucru mecanic) (fig. 2.14.14 a).

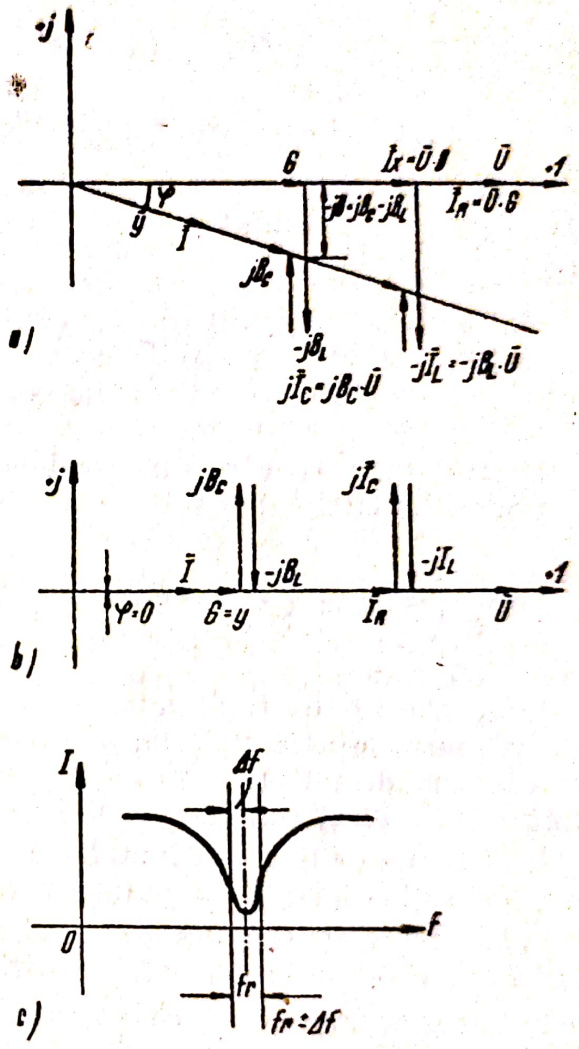


Fig. 2.4.13. Circuit *RLC* paralel :
a — diagramele admitanței și a curenților ; *b* — diagramele admitanței și a curenților, la rezonanță ; *c* — variația curentului, în funcție de frecvență, la rezonanță.

2.4.4. **Puterea electrică în curent alternativ.** Puterea electrică poate fi definită ca fiind viteza de circulație a energiei într-un circuit (sau energia absorbită în unitatea de timp) expresia ei instantanee, ca raportul dintre lucrul efectuat

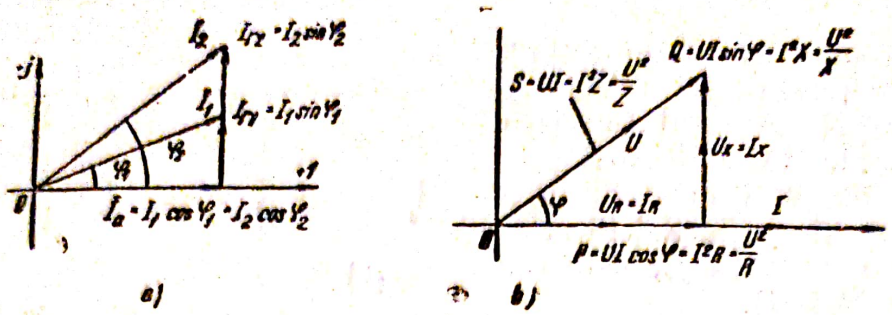


Fig. 2.4.14.

a — Diagrama curenţilor pentru o putere activă constantă şi unghiul de defazare φ variabil; *b* — diagrama puterilor.

în circuit şi intervalul de timp în care acesta se efectuează, fiind dată de relaţia:

$$p = \frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}t} = u \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin (\omega t \mp \varphi) = UI \cos \varphi - UI \cos (2\omega t \mp \varphi) \tag{2.4.71}$$

Puterea medie pentru o perioadă este egală cu energia dezvoltată într-o perioadă împărţită cu durata ei

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p \, \mathrm{d}t = \frac{UT}{T}\int_0^T \cos \varphi \, \mathrm{d}t + \frac{UI}{T}\int_0^T \cos (2\omega t \mp \varphi)\mathrm{d}t = UI \cos \varphi \tag{2.4.72}$$

Integrala a doua fiind zero, pentru o perioadă puterea medie este egală cu produsul dintre valorile efective ale tensiunii şi curentului, înmulţit cu factorul de putere cos φ. Aceasta este o putere activă (reală sau wattată) care se transformă ireversibil, în circuit, în căldură sau putere mecanică.

În diagrama curenţilor înmulţind curenţii cu tensiunea aplicată circuitului, se obţine diagrama puterilor (fig. 2.4.14 b).

Folosind relaţiile: $\cos \varphi = R/Z$, $1/R = G$; $\sin \varphi = X/Z$; $1/X = B$; $1/Z = Y$ se obţin următoarele relaţii pentru puteri:

Puterea activă avînd ca unitate wattul (W) cu multiplii kilowattul ($1\text{kW} = 10^3\text{W}$), megawattul ($1\,\text{MW} = 10^6\text{W}$) şi gigawattul ($1\text{GW} = 10^9\text{W}$) este

$$P = UI \cos \varphi = I^2R = U^2 \cdot G \quad [\text{W}] \tag{2.4.73}$$

Puterea reactivă, avînd ca unitate volt-amperul reactiv, numit şi var (VAr), (unitate propusă de C. Budeanu), cu multiplii săi (kVAr, MVAr, GVAr) este

$$Q = UI \sin \varphi = I^2X = U^2B \quad [\text{VAr}] \tag{2.4.74}$$

Aceasta nu se transformă în putere activă, ea este legată de formarea cîmpului electric în condensatoare (Q_c) sau a cîmpului magnetic în bobină

(Q_L). La dispariția cîmpului electric sau magnetic, puterea reactivă este retrocedată circuitului.

Produsul dintre tensiune și intensitate se numește putere aparentă; se măsoară în volt-amper (VA) cu multiplii săi (kVA, MVA, GVA) și este o mărime de calcul, valoarea ei fiind

$$S = UI = I^2Z = U^2Y = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [\text{VA}] \tag{2.4.75}$$

Factorul de putere și unghiul de defazare, se pot deduce din relațiile:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}; \quad \sin \varphi = \frac{Q}{S}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}. \tag{2.4.76}$$

În ecuația puterii (2.4.72) termenul

$$P_f = UI \cos (2\omega t \mp \varphi) \tag{2.4.77}$$

se numește putere fluctuantă, deoarece oscilează în jurul valorii sale medii $P = UI \cos \varphi$, cu pulsația 2ω, și fluctuează între generator și receptor, corespunzător variației față de abscisă (fig. 2.4.15 a). Cînd puterea instantanee este pozitivă, circuitul este receptor, deci primește energie de la rețeaua de alimentare. Cînd puterea instantanee este negativă, circuitul devine generator, deoarece cîmpurile produse în receptorii de circuit devin surse de energie, restituind rețelei energia absorbită la formarea lor.

Într-un circuit rezistiv (fig. 2.4.15b) puterea instantanee are caracter activ și este pozitivă, variabilă în jurul puterii medii $P = UI$ cu viteza 2ω. Se transformă în circuit în lucru mecanic.

Într-un circuit inductiv (fig. 2.4.15 c), puterea activă este zero ($P = 0$) iar puterea instantanee are caracter reactiv fluctuînd între generator și receptor cu pulsația 2ω, fiind acumulată în cîmpurile magnetice ale receptoarelor.

Într-un circuit capacitiv (fig. 2.4.15 d) puterea activă este zero ($P = 0$) iar puterea instantanee are caracter reactiv, fluctuînd între generator și receptor cu pulsația 2ω, fiind acumulată în cîmpurile electrice ale receptoarelor.

Faptul că puterile instantanee reactive, inductivă p_L și capacitivă p_C, sînt în opoziție de fază, stă la baza uneia din metodele artificiale de îmbunătățire a factorului de putere (cu ajutorul condensatoarelor statice).

2.4.5. **Curentul alternativ trifazat.** Un sistem trifazat este format din 3 curenți alternativi independenți, avînd aceeași frecvență, produși de trei f.e.m. sau din trei tensiuni alternative, decalate între ele cu $2\pi/m = 2\pi/3 = 120°$. Fiecare circuit independent se numește fază, iar numărul fazelor se notează cu m. Începuturile celor trei faze se notează cu simbolii A, B, C, iar sfîrșiturile lor cu X, Y, Z.

În figura (2.4.16) este reprezentată schema de principiu a unui generator de curent alternativ trifazat (generator sincron; alternator). Pe statorul (indusul) generatorului, sînt dispuse trei înfășurări AX, BY, CZ, decalate între ele în spațiu cu cîte 120°, a căror extremități sînt scoase

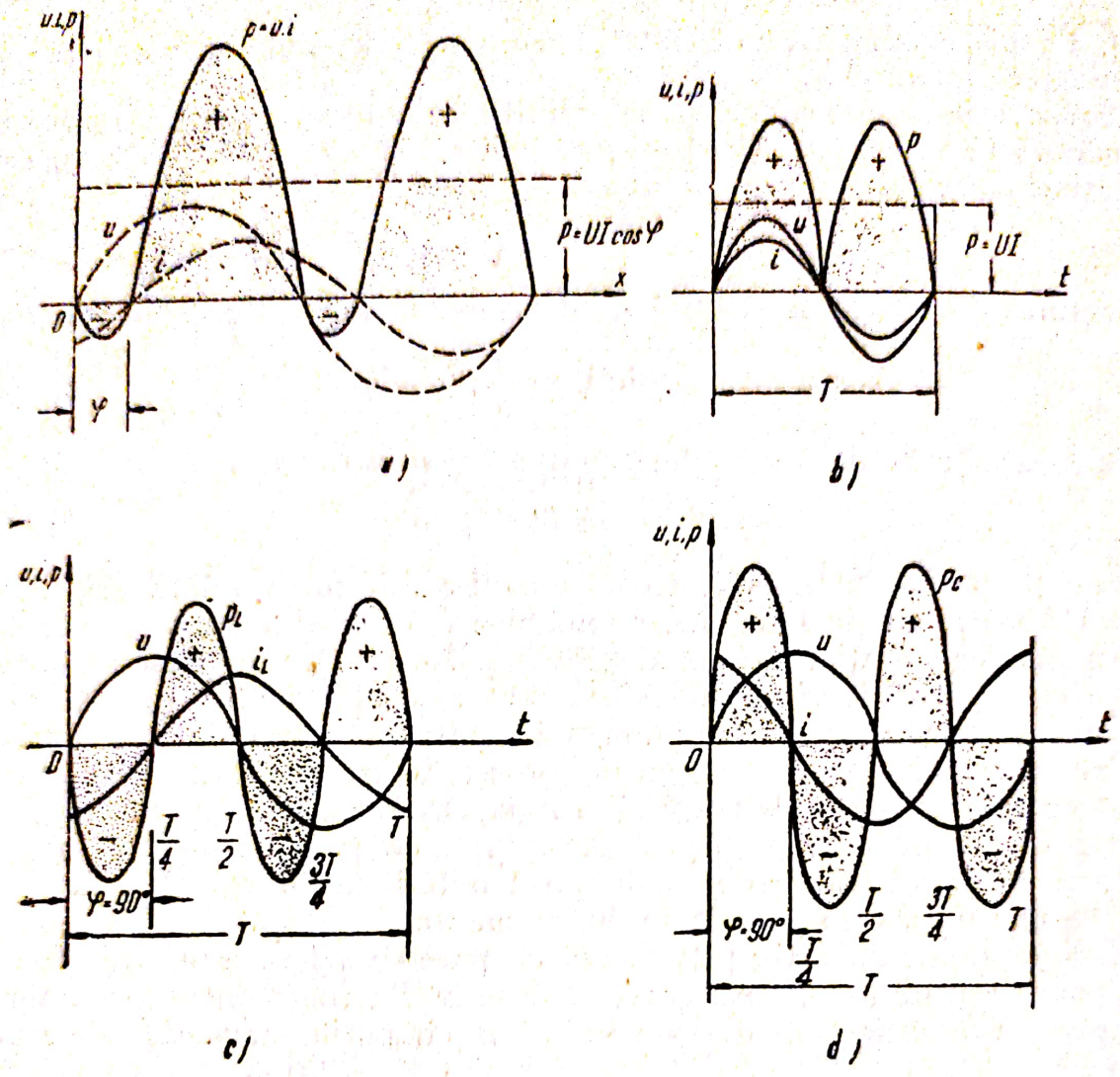


Fig. 2.4.15.

a — Diagrama *u*, *i*, *p* într-un circuit inductiv (R, L); *b* — Diagrama mărimilor electrice într-un circuit rezonant; *c* — Diagrama mărimilor electrice într-un circuit inductiv; *d* — Diagrama mărimilor electrice într-un circuit capacitiv.

la placa de conexiuni p_a. În interiorul statorului se află electromagnetul M, numit rotor, a cărui înfăşurare este alimentată de la sursa e, prin intermediul inelelor colectoare 1, 2 şi a periilor p_1, p_2, a căror borne sînt fixate pe placa de conexiuni p_e. Rotorul se roteşte cu viteza unghiulară $\omega = 2\pi f$, astfel că şi cîmpul Φ produs de curentul de excitaţie i_e, la trecerea lui prin înfăşurarea cu w spire a rotorului, se roteşte cu aceeaşi viteză, fiind astfel un cîmp învîrtitor. Fluxul Φ, intersectînd conductoarele active ale înfăşurărilor statorului, induce în acestea trei f.e.m. — e_1, e_2, e_3 cu variaţie sinusoidală, defazate între ele cu 120°, în timp. Sensul f.e.m. induse într-un conductor, la trecerea unui pol prin dreptul său, se află cu regula mîinii drepte, ţinînd seama că viteza relativă v a spirei faţă de cîmp este opusă sensului vitezei lui de rotire.

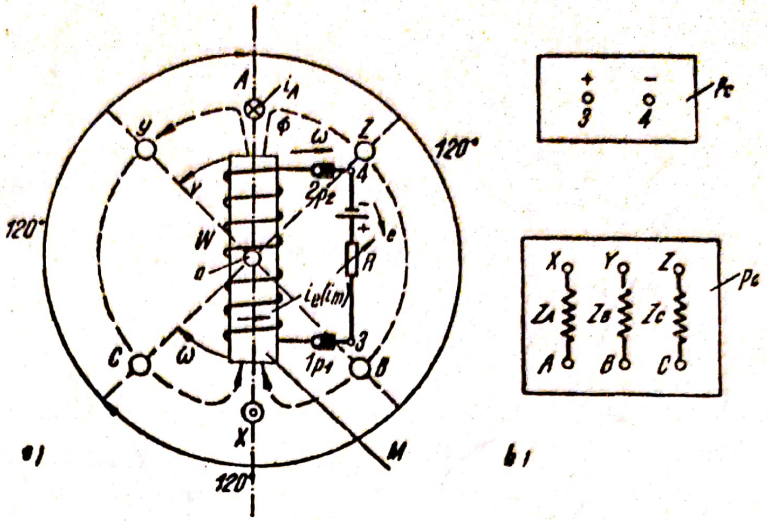


Fig. 2.4.16.

a — Schema de principiu a generatorului sincron trifazat; *AX*, *BY*, *CZ* — bobinele statorului; *M* — electromagnet (rotor) cu o înfășurare cu *w* spire; *1*, *2* — inele colectoare; p_1, p_2 — perii; *e* — sursă de f.e.m.; *R* — reostat pentru reglarea curentului de excitație i_e; *a* — axa rotorului; *b* — placa de conexiuni a sistemului de curent alternatv trifazat; *c* — placa de conexiuni pentru alimentarea rotorului.

În figura 2.4.17 sînt reprezentate grafic sisteme trifazice de f.e.m. tensiuni și curenți, luîndu-se ca origine de fază mărimile din faza întîia. Sistemele sînt simetrice, adică cele trei mărimi sînt egale și defazate între ele cu cîte 120°.

În reprezentarea vectorială mărimile electrice sînt reprezentate prin vectori, valorile lor momentane fiind date de proiecțiile acestora pe orizontală. Planul în care se află vectorii este un plan potențial, iar un punct oarecare A, are potențialul corespunzător vectorului OA. Cercul descris de raza OA este o linie de cîmp echipotențială.

În sistemul trifazat cu circuite independente (fig. 2.4.18 a) format dintr-un generator trifazat, linia de transport l și receptorul trifazat cu impedanțele Z_1, Z_2, Z_3, curenții sînt defazați cu unghiurile φ_1, φ_2, φ_3, în urma tensiunilor. Corespunzător, expresiile mărimilor electrice din circuit, în valori instantanee sau complexe, sînt date de relațiile:

$$\left.\begin{aligned} e_1 &= E_{m_1} \sin \omega t \\ e_2 &= E_{m_2} \sin (\omega t - 120°) \\ e_3 &= E_{m_3} \sin (\omega t - 240°) \end{aligned}\right\} \quad \left\{\begin{aligned} \overline{E}_1 &= E_1 \sqrt{2}\, e^{j\omega t} \\ E_2 &= E_2 \sqrt{2}\, e^{j(\omega t - 120°)} \\ E_3 &= E_3 \sqrt{2}\, e^{j(\omega t - 240°)} \end{aligned}\right\} \quad (2.4.78)$$

$$\left.\begin{aligned} u_1 &= U_{m_1} \sin \omega t \\ u_2 &= U_{m_2} \sin (\omega t - 120°) \\ u_3 &= U_{m_3} \sin (\omega t - 240°) \end{aligned}\right\} \quad \left\{\begin{aligned} \overline{U}_1 &= U_1 \sqrt{2} e^{j\omega t} \\ \overline{U}_2 &= U_2 \sqrt{2} e^{j(\omega t - 120°)} \\ \overline{U}_3 &= U_3 \sqrt{2} e^{j(\omega t - 240°)} \end{aligned}\right\} \quad (2.4.79)$$

$$\left.\begin{aligned} i_1 &= I_{m_1} \sin \omega t \\ i_2 &= I_{m_2} \sin (\omega t - 120°) \\ i_3 &= I_{m_3} \sin (\omega t - 240°) \end{aligned}\right\} \quad \left\{\begin{aligned} \overline{I}_1 &= I_1 \sqrt{2} e^{j\omega t} \\ \overline{I}_2 &= I_2 \sqrt{2} e^{j(\omega t - 120°)} \\ \overline{I}_3 &= I_3 \sqrt{2} e^{j(\omega t - 240°)} \end{aligned}\right\} \quad (2.4.80)$$

Scanned with OKEN Scanner

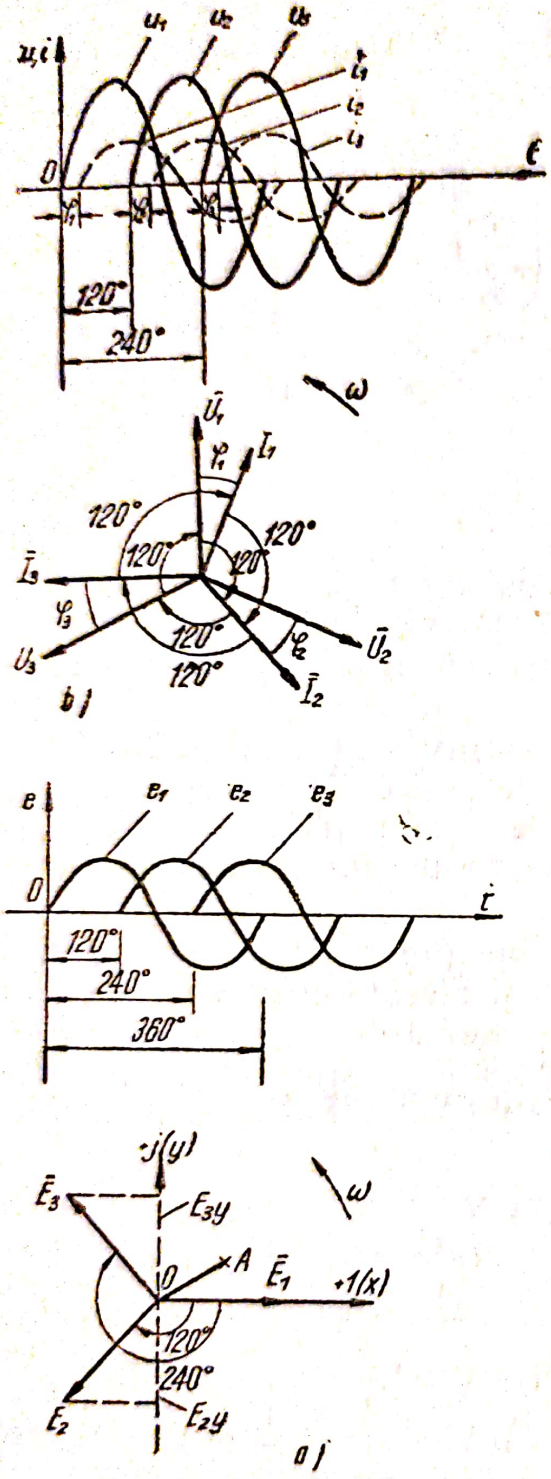


Fig. 2.4.17. Sistem simetric trifazat, în reprezentare geometrică și vectorială:
a — f e.m.; *b* — tensiuni și curenți.

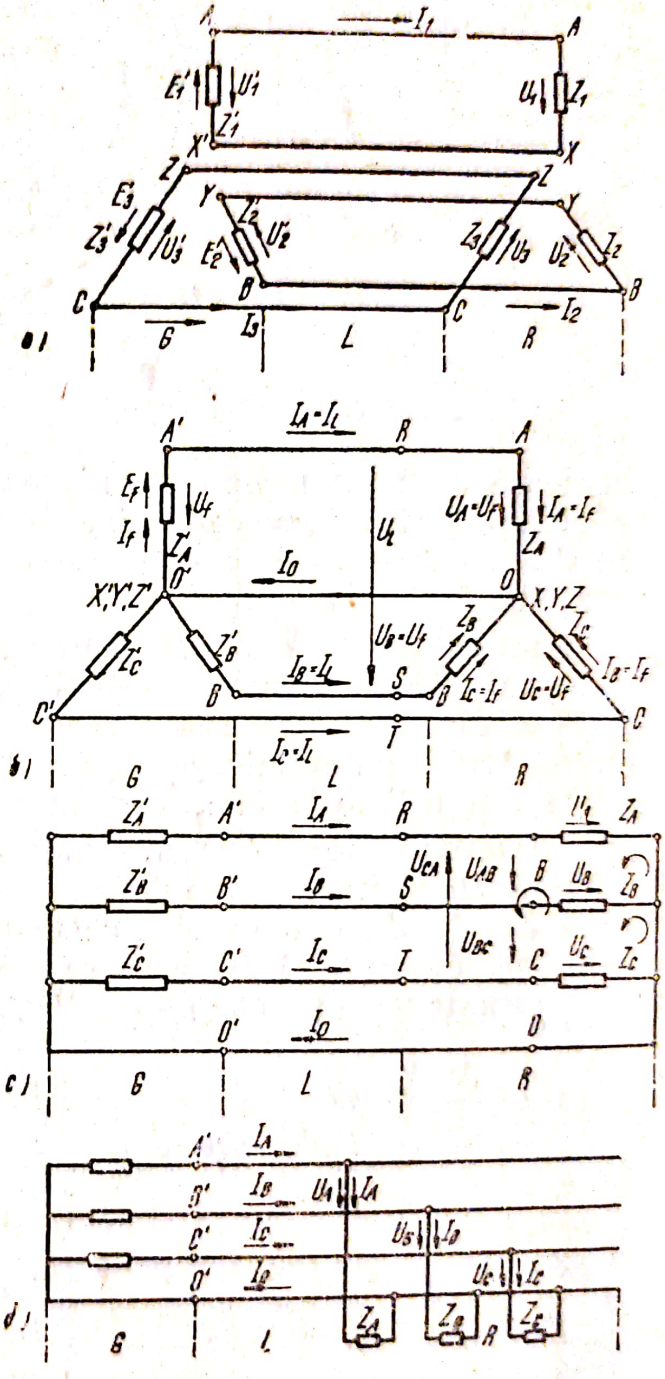


Fig. 2.4.18.
a — Sistemul trifazat cu faze independente: *G* — generator trifazat; *L* — linie de transport; *R* — receptor trifazat; *b*, *c*, *d* — Moduri de reprezentare a circuitelor trifazice în stea cu conductor neutru (cu patru conductoare)

Scanned with OKEN Scanner

Dacă impedanțele din circuitul trifazat sînt egale ($Z_A = Z_B = Z_C$) sistemul este simetric ($E_1 = E_2 = E_3$; $U_1 = U_2 = U_3$; $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$) și echilibrat $I_1 = I_2 = I_3$.

Pentru a utiliza conductori mai puțini, fazele sistemelor trifazate nu se leagă separat ci se leagă în stea sau în triunghi.

1. Legarea în stea cu conductor neutru se obține prin legarea sfîrșiturilor fazelor într-un punct comun, numit punct neutru (fig. 2.4.18). Conductoarele care leagă începuturile generatorului și receptorului se numesc conductoare de linie, iar conductorul de legătură dintre punctele lor neutre O și O', se numește conductor neutru. Circuitul astfel obținut se numește circuit cu legarea fazelor în stea, cu patru conductoare.

Tensiunea dintre începutul și sfîrșitul unei faze, sau dintre un conductor de linie și conductorul neutru, se numește tensiune de fază (U_f).

Tensiunea dintre începuturile a două faze, sau dintre două conductoare de linie, se numește tensiune de linie (U_l).

Relația dintre tensiunile de linie și cele de fază, se află aplicînd teorema a doua a lui Kirchhoff în cele trei circuite simple din figura (2.4.19.b)

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_A - \bar{U}_B; \quad \bar{U}_{BC} = \bar{U}_B - \bar{U}_C; \quad \bar{U}_{CA} = \bar{U}_{CA} - \bar{U}_A \qquad (4.2.81)$$

În figura 2.4.19 este redată diagrama vectorială a tensiunilor, construită pe baza relațiilor precedente, din care se vede că tensiunea de linie este defazată cu 30° înaintea tensiunii de fază, valoarea ei fiind

$$U_l = U_{AB} = \overline{ON} = \overline{OM} + \overline{MN} = 2U_f \cdot \cos 30° = \sqrt{3} \cdot U_f \qquad (2.4.82)$$

Curentul de linie este egal cu curentul de fază

$$I_l = I_f \qquad (2.4.83)$$

Din teorema întîi a lui Kirchhoff, aplicată în punctul neutru rezultă următoarea relație între curenți

$$\bar{I}_O = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C \qquad (2.4.84)$$

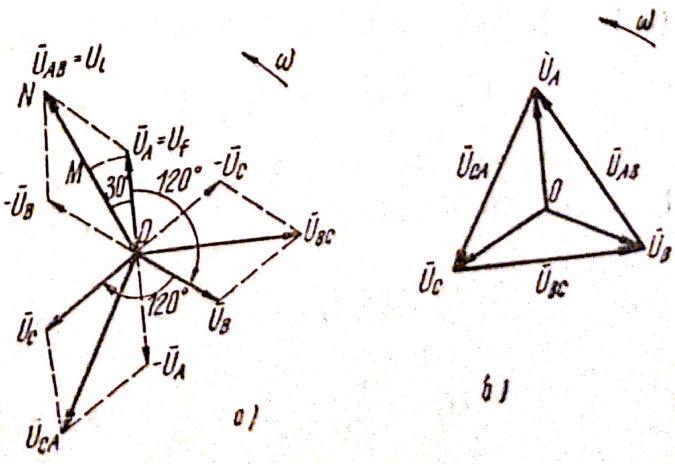


Fig. 2.4.19. Moduri de construire a diagramei vectoriale a tensiunilor la legarea în stea.

Scanned with OKEN Scanner

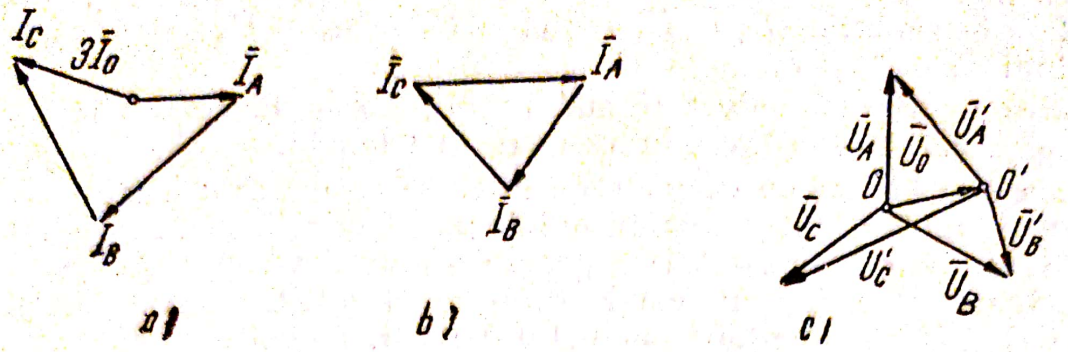


Fig. 2.4.20.

a — Diagrama vectorială a curenţilor într-un sistem trifazat cu patru conductoare, simetric; *b* — Diagrama vectorială a curenţilor într-un sistem trifazat cu patru conductoare, asimetric; *c* — Diagrama tensiunilor de fază a unui receptor trifazat, în caz de asimetrie; U_0 — deplasarea punctului neutru

care în caz de simetrie, cînd $\bar{I}_0 = 0$, devine

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0 \tag{2.4.85}$$

În figura (2.4.20), este reprezentată diagrama vectorială a curenţilor.

În caz de nesimetrie căderile de tensiune pe faze nu mai sînt egale astfel că punctul neutru ajunge la un potenţial U (care produce curentul I) a cărui expresie analitică este

$$\bar{U}_0 = \frac{\bar{U}_A\bar{Y}_A + \bar{U}_B\bar{Y}_B + \bar{U}_C\bar{Y}_C}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_0} = \frac{\sum_{k=1}^{3} \bar{I}_k}{\sum_{k=0}^{3} \bar{Y}_k} \tag{2.4.86}$$

în care $\bar{U}_A$, $\bar{U}_B$, $\bar{U}_C$ sînt tensiunile complexe de fază $\bar{Y}_A$, $\bar{Y}_B$, $\bar{Y}_C$ sînt admitanţele complexe ale fazelor, iar $\bar{Y}_0$ este admitanţa complexă a conductorului nutru. Diagrama vectorială în acest caz, este redată în figura (2.4.20c). Tensiunile de fază nesimetrice, sînt date de relaţiile:

$$\bar{U}_{A'} = \bar{U}_A - \bar{U}_0; \quad \bar{U}_B = \bar{U}_B - \bar{U}_0; \quad \bar{U}_C = \bar{U}_C - \bar{U}_0 \tag{2.4.87}$$

Considerînd fiecare fază şi conductorul neutru ca un sistem monofazat între mărimile electrice şi parametrii fazelor, se pot scrie relaţiile:

$$\bar{I}_0 = \bar{U}_0\bar{Y}_0; \; \bar{I}_f = \frac{\bar{U}_f}{\bar{Z}_f}; \; \cos\varphi_f = \frac{R_f}{\bar{Z}_f}; \; \sin\varphi_f = \frac{X_f}{Z_f}; \; \operatorname{tg}\varphi_f = \frac{X_f}{R_f} \tag{2.4.88}$$

$$U_f = \frac{U_f}{\sqrt{3}}; \quad Z_f = \frac{U_f}{I_f}; \quad R_f = \frac{R_f}{I_f^2}; \quad X_f = \sqrt{Z_f^2 - R_f^2}. \tag{2.4.89}$$

Puterile totale în circuitul trifazat, considerînd puterile pe fază activă (P_f), reactivă (Q_f) și aparentă (S_f) sînt

$$P = \sum_{1}^{3} P_{fi} = U_A \cdot I_A \cdot \cos \varphi_A + U_B \cdot I_B \cos \varphi_B + \\ + U_C \cdot I_C \cos \varphi_C \quad [\mathrm{W}] \tag{2.4.90}$$

$$Q = \sum_{k=1}^{3} Q_{fk} = U_A \cdot I_A \sin \varphi_A + U_B \cdot I_B \sin \varphi_B + U_C \cdot I_C \sin \varphi_C \quad [\mathrm{VAr}] \tag{2.4.91}$$

$$S = \sum_{k=1}^{2} S_{fk} = U_A \cdot I_A + U_B \cdot I_B + U_C \cdot I_C. \quad [\mathrm{VA}] \tag{2.4.92}$$

În caz de simetrie, cînd $Z_A = Z_B = Z_C$, deci $U_A = U_B = U_C = U_f = U_l/\sqrt{3}$, $I_A = I_B = I_C = I_f = I_l$ și $\cos \varphi_A = \cos \varphi_B = \cos \varphi_C = \cos \varphi$, relațiile precedente devin

$$P = 3P_f = 3U_f I_f \cos \varphi = 3 \frac{U_l}{\sqrt{3}} I_l \cdot \cos \varphi = \sqrt{3}\, U_l I_l \cos \varphi \tag{2.4.93}$$

$$Q = 3Q_f = \sqrt{3} U_l I_l \sin \varphi \tag{2.4.94}$$

$$S = 3S_f = \sqrt{3} U_l I_l \tag{2.4.95}$$

2. Legarea în stea fără conductor neutru (cu trei conductoare), se obține din conexiunea în stea cu patru conductoare, prin eliminarea conductorului neutru, care leagă punctele neutre, a generatorului cu a receptorului (fig. 2.4.21). Diagramele vectoriale ale tensiunilor sînt cele redate în figurile (2.4.20) și (2.4.21).

Relațiile stabilite în sistemul trifazat cu conductor neutru, sînt valabile și în cazul acesta, cu excepția relațiilor care dau valoarea curentului I_0, care în acest caz nu există, și a relației care exprimă potențialul (deplasarea) punctului neutru (dată fără demonstrație) care devine

$$\overline{U}_0 = \frac{\overline{U}_A \overline{Y}_A + \overline{U}_B \overline{Y}_B + \overline{U}_C Y_C}{\overline{Y}_A + \overline{Y}_B + \overline{Y}_C} = \frac{\overline{I}_A + \overline{I}_B + \overline{I}_C}{\overline{Y}_A + \overline{Y}_B + \overline{Y}_C}. \tag{2.4.96}$$

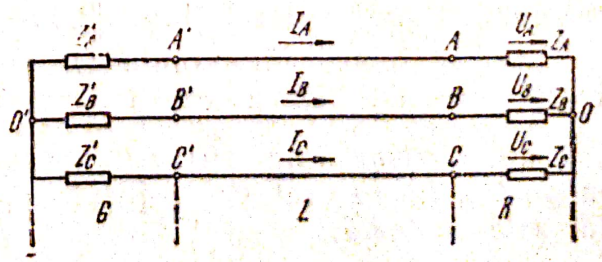


Fig. 2.4.21. Conexiunea unui sistem trifazat în stea fără conductor neutru (în stea cu trei conductoare).

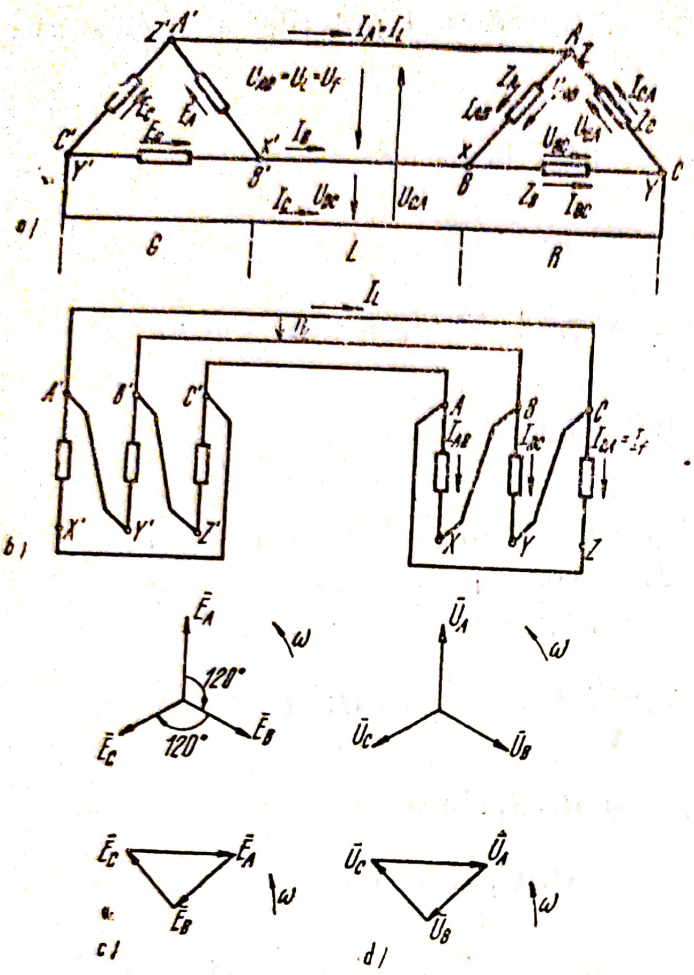


Fig. 2.4.22. *a,b* — Moduri de reprezentare a legării fazelor în triunghi:

G — generator; *L* — linie; *R* — receptor; *c, d* — Diagramele vectoriale ale f.e.m. pe fază, respectiv ale tensiunilor de fază, în legarea în triunghi.

3. Legarea în triunghi se obţine prin legarea sfîrşitului unei faze cu începutul fazei următoare (fig. 2.4.22, a, b).

Forţele electromotoare şi tensiunile pe cele trei faze fiind egale şi defazate între ele cu 120°, suma lor geometrică este egală cu zero, (fig. 2.4.22)

$$\overline{E}_A + \overline{E}_B + \overline{E}_C = 0;$$

$$\overline{U}_A + \overline{U}_B + \overline{U}_C = 0 \quad (2.4.97)$$

Tensiunea de linie este egală cu tensiunea de fază:

$$U_l = U_f \quad (2.4.98)$$

Aplicînd teorema întîia a lui Kirchhoff în nodurile A, B, C, se obţin următoarele relaţii între curenţii de linie şi cei de fază

$$\overline{I}_A = \overline{I}_{AB} - \overline{I}_{CA};$$

$$\overline{I}_B = \overline{I}_{BC} - \overline{I}_{AB};$$

$$\overline{I}_C = \overline{I}_{CA} - \overline{I}_{BC}; \quad (2.4.99)$$

pe baza cărora se construieşte diagrama vectorială a curenţilor din figura 2.4.23, luîndu-se origine de fază tensiunea U_{AB}. La simetrie, avem relaţia

$$I_l = I_A = \overline{ON} = \overline{OM} + \overline{MN} = 2I_f \cdot \cos 30° = \sqrt{3} \cdot I_f \quad (2.4.100)$$

conform căreia, valoarea curentului de linie este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît a curentului de fază.

Măsurînd mărimile electrice şi parametrii fazelor, circuitul se poate rezolva cu ajutorul relaţiilor (2.4.88), (2.4.89), (2.4.98) şi (2.4.100).

Sistemele în stea fără conductor neutru şi în triunghi se folosesc în cazul receptorilor care nu produc încărcări inegale a fazelor.

2.4.6. **Cîmpuri magnetice învîrtitoare.** Cîmpul învîrtitor este un cîmp magnetic, care se roteşte în jurul unui ax perpendicular pe direcţia liniilor sale de forţă.

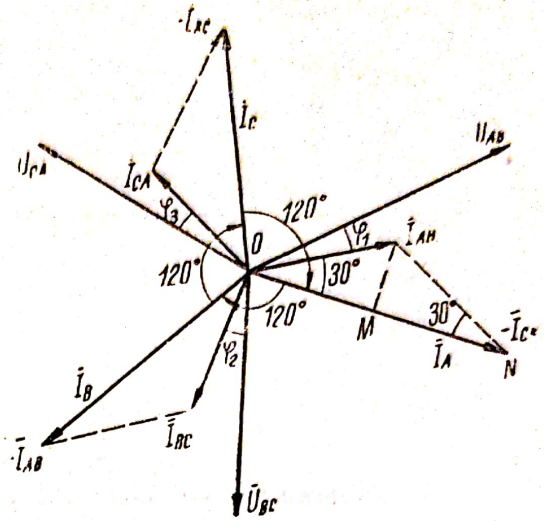


Fig. 2.4.23. Diagrama vectorială a curenților și a tensiunilor la legarea receptoarelor trifazice în triunghi.

Un astfel de cîmp se poate obține rotind un magnet permanent, sau un electromagnet M, în jurul axei a (fig. 2.4.16), cu frecvența $f = n/60$ (n fiind numărul de rotații pe minut).

Cîmpul magnetic învîrtitor se mai poate produce cu ajutorul curenților alternativi polifazați (soluție folosită la mașini și aparate de curent alternativ): un sistem de m curenți alternativi, defazați în timp unul față de altul cu unghiul $2\pi/m$, care străbat m bobine fixe, decalate în spațiu una față de alta cu unghiul $2\pi/m$, produc un cîmp magnetic învîrtitor.

Ca exemplu, vom arăta cîmpul magnetic învîrtitor trifazat produs de un sistem trifazat de curenți alternativi ($m = 3$), de valori egale, decalați în timp cu $2\pi/3 = 120°$ unul față de altul, care străbat trei bobine fixe, identice, coaxiale, decalate în spațiu cu 120° între ele (fig. 2.4.24a). Cei trei curenți

$$i_A = I_m \cdot \sin \omega t\,;\quad i_B = I_m \cdot \sin(\omega t - 120°)\,;\quad i_c = I_m \cdot \sin(\omega t - 240°)$$

produc cîmpurile alternative

$$C_A = B_m \sin \omega t\,;\quad C_B = B_m \sin(\omega t - 120°)\,;\quad C_C = B_m \sin(\omega t - 240°)$$

a căror proiecții pe axele sistemului de coordonate, în momentul $t = 0$ (fig. 2.4.24b), sînt:

$$C_{A_x} = C_A - B_m \sin \omega t\,;\quad C_{B_x} = C_B \cos(-120°) = -\frac{1}{2} B_m \sin(\omega t - 120°)$$

$$C_{C_x} = C_C \cos(-240°) = \frac{1}{2} B_m \sin(\omega t - 240°)$$

$$C_{A_y} = 0\,;\quad C_{B_y} = C_B \sin(-120°) = -\frac{\sqrt{3}}{2} B_m \sin(\omega t - 120°)$$

$$C_{C_y} = C_C \sin(-240°) = \frac{\sqrt{3}}{2} B_m \sin(\omega t - 120°)$$

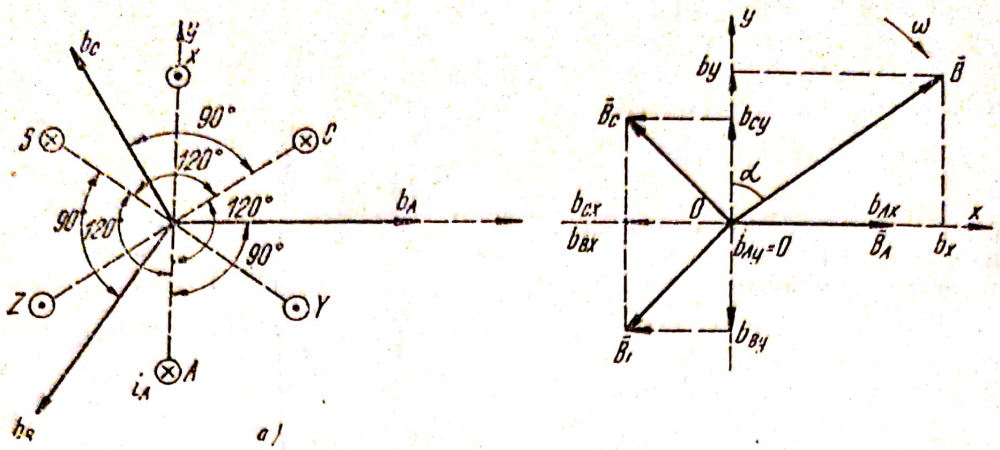


Fig. 2.4.24.

a — producerea cîmpului magnetic învîrtitor trifazat; *b* — diagrama cîmpului învîrtitor rezultant; *AX*, *BY*, *CZ* — bobine fixe

Proiecţiile cîmpului rezultant B pe cele două axe, sînt

$$C_x = C_{A_x} + C_{B_x} + C_{C_x} = \frac{3}{2} B_m \sin \omega t\,; \quad C_y = C_{A_y} + C_{B_y} + C_{C_y} = \frac{3}{2} B_m \cos \omega t \tag{2.4.101}$$

cmp ul rezultant fiind dat de relaţia

$$B = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} = \frac{3}{2} B_m \tag{2.4.102}$$

Unghiul format de cîmpul rezultant şi ordonată, este

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{C_x}{B_y} = \frac{\sin \omega t}{\cos \omega t} = \operatorname{tg} \omega t\,; \qquad \alpha = \omega t \tag{2.4.103}$$

În concluzie, cîmpul magnetic rezultant B, are o valoare constantă, egală cu două treimi din amplitudinea maximă a cîmpurilor componente $\left(\frac{2}{3} B_m\right)$ şi se roteşte cu viteza unghiulară $\frac{d\alpha}{dt} = \omega = 2\pi f$, egală cu pulsaţia curenţilor trifazaţi.

2.5. ELEMENTE NELINIARE ÎN CIRCUITELE ELECTRICE

2.5.1. Circuite neliniare de curent continuu. Elementele neliniare sînt dispozitivele a căror rezistenţă electrică depinde de curentul ce trece prin ele sau de tensiunea aplicată la bornele lor, adică cu caracteristica $u = f(i)$ neliniară. După aspectul ei se disting elemente *simetrice* şi *nesimetrice*. Rezistenţa elementelor simetrice depinde în acelaşi mod de curent, pentru ambele sale sensuri prin element. Rezistenţa elementelor nesimetrice depinde de sensul curentului prin element (de la exemplu la redresoare; v. fig. 2.5.7).

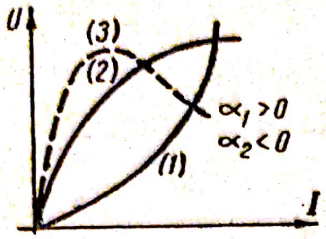


Fig. 2.5.1. Variația rezistenței cu temperatura:
1 — filament metalic; *2* — filament de cărbune; *3* — termistori

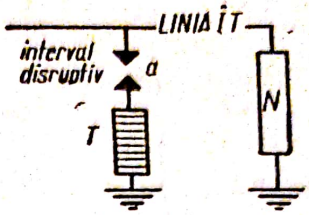


Fig. 2.5.2. Protejarea unei instalații electrice cu descărcător cu tirit:
N — instalația protejată; *T* — descărcător cu tirit; *a* — eclator.

Elementele neliniare cele mai frecvent întîlnite în circuitele de curent continuu sînt:

a) Lămpi cu incandescență (elemente simetrice), sînt rezistoare termice care lucrează la temperatură înaltă. Datorită încălzirii conductorului (filamentului), rezistența lor variază sensibil de la starea de funcționare cu curenți mult mai mici decît curentul nominal („la rece"), la starea de funcționare normală („la cald"). Coeficientul de temperatură, depinde de natura filamentului (v. fig. 2.5.1.). Neliniaritatea sarcinii de iluminat, datorită caracterului neliniar al lămpilor cu incandescență intervine în studiul rețelelor de iluminat.

b) Termorezistențe și termistoare — sînt materiale conductoare respectiv semiconductoare a căror rezistență depinde de temperatură (v. fig. 2.5.2).

Termorezistențele se utilizează la măsurarea și reglarea automată a temperaturii, iar termistoarele la măsurători de înaltă frecvență.

c) Rezistoare din tirit (carbură de siliciu) — avînd proprietatea scăderii bruște a valorii rezistenței lor cu creșterea tensiunii, după legea aproximativă $T \cong A \cdot U^{3,5}$, A fiind o constantă.

Aceste elemente se utilizează la construcția descărcătoarelor cu tirit, pentru protecția instalațiilor de înaltă tensiune, împotriva supratensiunilor. Pentru protecție, descărcătorul cu tirit, format din mai multe discuri de tirit suprapuse legate în serie cu un eclator, se conectează în paralel cu instalația protejată (v. fig. 2.5.2). La tensiunea nominală U_n, spațiul disruptiv nu este străpuns. Pentru tensiuni $U > U_n$, spațiul disruptiv este străpuns, prin coloana de tirit va trece un curent mare, deoarece rezistența coloanei a scăzut brusc o dată cu creșterea tensiunii.

d) Tubul baretor — este constituit dintr-un balon de sticlă umplut cu hidrogen, avînd un filament de fier. Se utilizează ca stabilizator de curent, deoarece, pentru o variație relativ mare a tensiunii $\pm\Delta U$ în jurul tensiunii de funcționare U_n, curentul I_n rămîne constant (v. fig. 2.5.3.).

e) Tuburi cu descărcări luminiscente — sînt tuburi umplute cu gaze inerte la presiune scăzută (ex. neon), în care sînt introduși doi electrozi (v. fig. 2.5.4. a). În momentul cînd tensiunea aplicată electrozilor, depă-

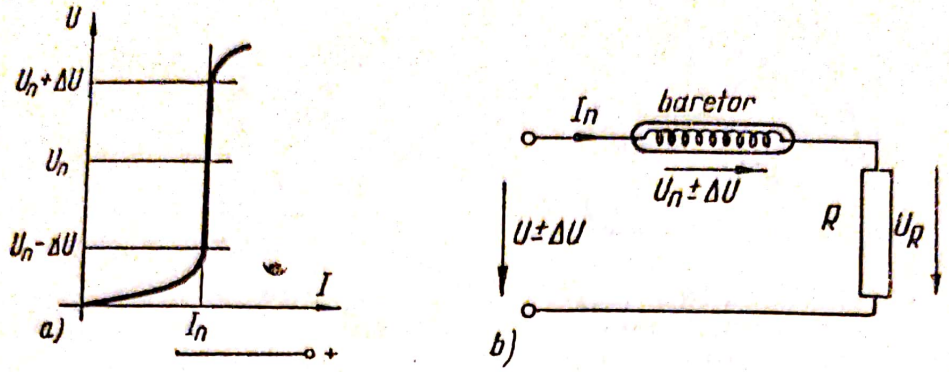


Fig. 2.5.3. Tubul baretor:
a — Caracteristica baretorului; *b* — schema principială a stabilizării curentului.

şeşte o anumită valoare U_0, numită tensiune de aprindere (de amorsare), în tub apare o descărcare luminiscentă (v. paragraf 2.2.4). Aceste tuburi se pot utiliza ca stabilizatoare de tensiune (stabilovolt fig. 2.5.4. *b, c*).

Tubul se conectează în paralel cu receptorul pe care dorim să-l alimentăm cu o tensiune stabilizată. În limitele de variaţie a curentului I_1 cu $\pm\Delta I$, aceste variaţii revin curentului din tub, $I_n \pm \Delta I$, tensiunea U_n la bornele tubului, deci şi a receptorului rămînînd constante în acest interval.

f) Arcul electric reprezintă o descărcare electrică autonomă însoţită de dezvoltarea unei cantităţi mari de căldură şi lumină.

Curentul în arc se datoreşte în cea mai mare parte electronilor. Practic, pentru obţinerea arcului se aduc cei doi electrozi în contact, provocîndu-se o încălzire foarte puternică şi apoi se îndepărtează (v. fig. 2.5.5). Electronii necesari menţinerii descărcării se obţin atît prin ciocniri ale ionilor cît şi datorită temperaturii foarte ridicate a arcului (în jur de 4800 °C).

În funcţie de materialul din care sînt alcătuiţi electrozii, caracteristica arcului poate fi simetrică sau nesimetrică. Ea este descendentă datorită scăderii căderii de tensiune în arc cu creşterea curentului.

În circuitele de utilizare, în caz că arcul este alimentat cu o tensiune invariabilă, pentru protecţie este necesară conectarea unei rezistenţe adiţionale în serie cu arcul.

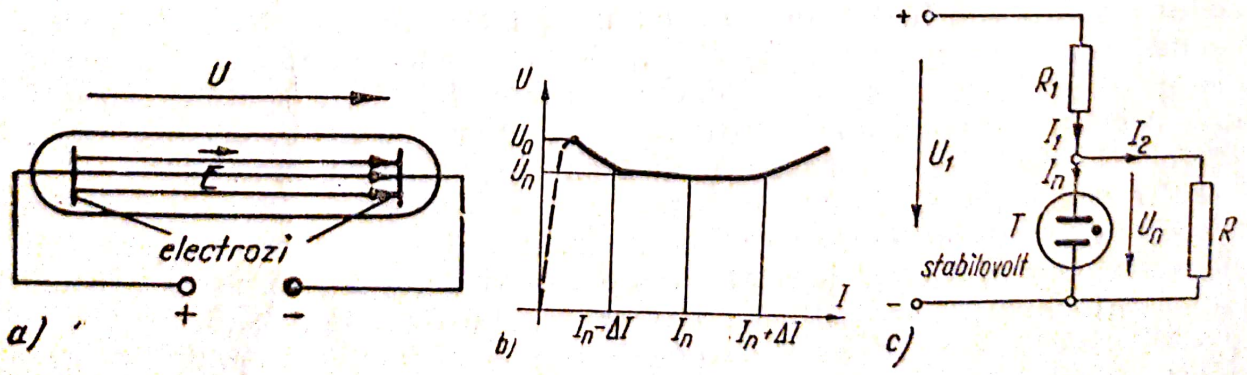


Fig. 2.5.4. Tub cu descărcare luminiscentă:
a — schema principială; *b* — caracteristica tubului; *c* — schema principială a stabilizării tensiunii.

g) Tuburi electronice cu vid—se vor trata în paragraful 2.5.3.

h) Redresoare cu semiconductori—se vor trata în paragraful 2.5.4.

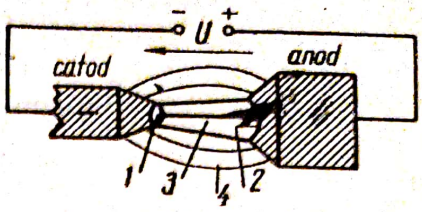


Fig. 2.5.5. Arc electric:
1 — porțiune activă; *2* — crater; *3* — arcul electric propriu-zis; *4* — arderea vaporilor și particulelor de cărbune.

Caracteristicile circuitelor cu elemente neliniare sînt:

— Caracteristica tensiune-curent $U = f(I)$ — fig. 2.5.6.

— Rezistența statică $R_{st} = \frac{U}{I} = \text{tg}\,\alpha$, variabilă în funcție de punctul de funcționare M. Pentru exemplificare se indică calitativ variația rezistenței statice în funcție de curent pentru un redresor, în figura 2.5.7.

— Rezistența dinamică $R_d = \lim \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{dU}{dI}$, adică tocmai tg β la caracteristica din figura 2.5.6.

Expresiile teoremelor lui Kirchhoff sînt aceleași ca în cazul circuitelor liniare, avînd în vedere faptul că la bornele elementului neliniar tensiunea depinde de curenții respectivi conform caracteristicii elementului, deci

$$U_k = f(I_k) = U_k(I_k) \tag{2.5.1}$$

Cele mai utilizate metode de rezolvare a circuitelor neliniare sînt metodele grafo-analitice.

2.5.2. **Circuite neliniare de curent alternativ.** Formele generale ale teoremelor lui Kirchhoff stabilite la paragraful 2.2.13 sînt valabile și pentru circuitele cu elemente neliniare, deoarece la stabilirea acestor forme nu s-au utilizat legi de material valabile numai pentru elemente de circuit liniare. Ele trebuiesc însă completate cu relațiile în general neliniare care leagă tensiunile la borne de curenți, derivatele lor, integralele lor, etc. De obicei, laturile sînt constituite din rezistoare, condensatoare, bobine și generatoare legate în serie, astfel că putem scrie:

$$\Sigma e_m = \Sigma\left[U_R + U_C + \frac{d\Phi}{dt}\right] \tag{2.5.2}$$

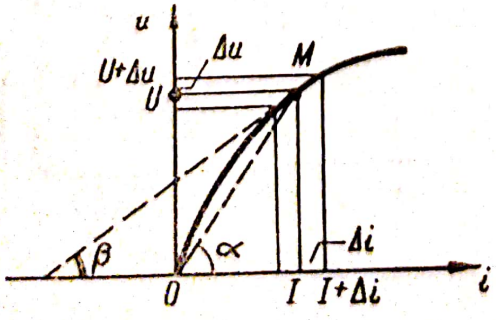


Fig. 2.5.6. Caracteristica curent tensiune $U = f(I)$.

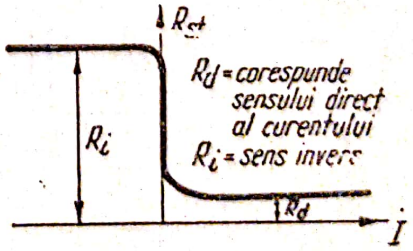


Fig. 2.5.7. Forma curbei $R_{st} = f(I)$ pentru un redresor.

termenii avînd semnificaţiile stabilite la paragraful 2.2.3. Sistemul de ecuaţii ale lui Kirchhoff va trebui completat cu caracteristicile elementelor de circuit dipolare:

— caracteristica tensiune — curent pentru rezistoare neliniare

$$U_R = U_R(i) \tag{2.5.3.}$$

— caracteristica tensiune — sarcină pentru condensatoare neliniare

$$U_C = U_C(q) \quad \text{cu} \tag{2.5.4.}$$

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{2.5.5.}$$

— caracteristica flux — curenţi pentru bobine neliniare (cu miez de fier)

$$\Phi = \Phi(i_1,\ i_2,\ \ldots\ i_m,\ \ldots\ i_L) \tag{2.5.6.}$$

sau, simplificată în lipsa cuplajelor magnetice

$$\Phi = \Phi(i) \tag{2.5.7.}$$

Rezolvarea ecuaţiilor de mai sus, în cazul general al regimului tranzitoriu, constituie o problemă dificilă, fiind obiectul unor studii matematice şi tehnice superioare.

a) Bobina cu miez de fier este principalul element neliniar al circuitelor electrice (înfăşurările transformatoarelor, maşinilor electrice, etc.). În aceste bobine apar atît efecte deformante cauzate de neliniarităţi cît şi pierderi de putere suplimentare, localizate în miezul feromagnetic (pierderi în fier).

— Ciclul de magnetizare. Curentul $i(t)$ absorbit în regim permanent de bobina cu miez feromagnetic avînd N spire şi rezistenţa R (fig. 2.5.8.*a*) determină fluxul magnetic fascicular

$$\Phi_f = \Phi_{fu} + \Phi_d = \frac{1}{N}\,\Phi_u + \Phi_d \tag{2.5.8.}$$

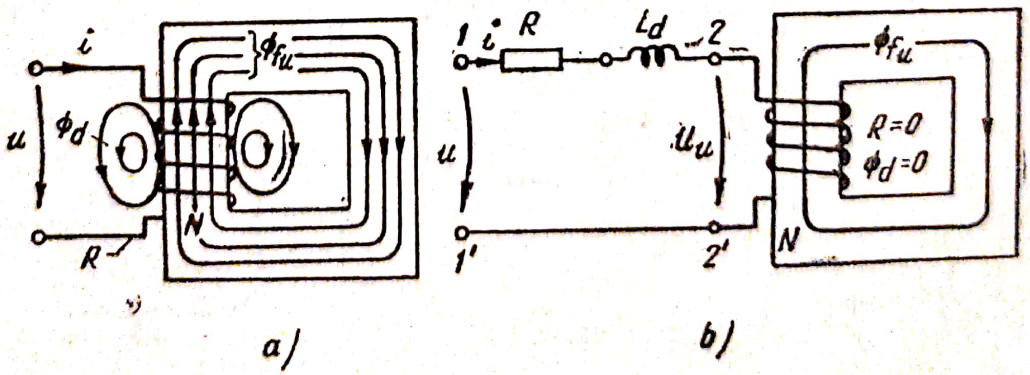


Fig. 2.5.8. Bobina cu miez feromagnetic:
a — schema principială; *b* — schema echivalentă.

unde Φ_{fu} este fluxul util iar Φ_d fluxul de dispersie. Aerul avînd o reluctanță foarte mare și practic constantă, se va putea defini o inductivitate de dispersie L_d, și ea constantă:

$$N\Phi_d = L_d \cdot i \qquad (2.5.9.)$$

În acest caz fluxul total devine

$$\Phi = N(\Phi_{fu} + \Phi_d) = L_d \cdot i + \Phi_u \qquad (2.5.10.)$$

unde Φ_u este fluxul util (din fier) total. Dependența

$$\Phi_u = f(i) \qquad (2.5.11.)$$

este tocmai *caracteristica magnetică* a bobinei: o dreaptă cu panta L pentru bobina fără miez de fier și o curbă închisă — *ciclu de magnetizare* C_{Φ_i} (fig. 2.5.9. *b*) — pentru bobina cu miez de fier în regim permanent. Curba C_{Φ_i} diferă de ciclu histerezis (Curba C_{BH}, fig. 2.5.9. *a*), datorită curenților turbionari induși în miezul feromagnetic, care determină pierderi de energie suplimentare prin efect Joule.

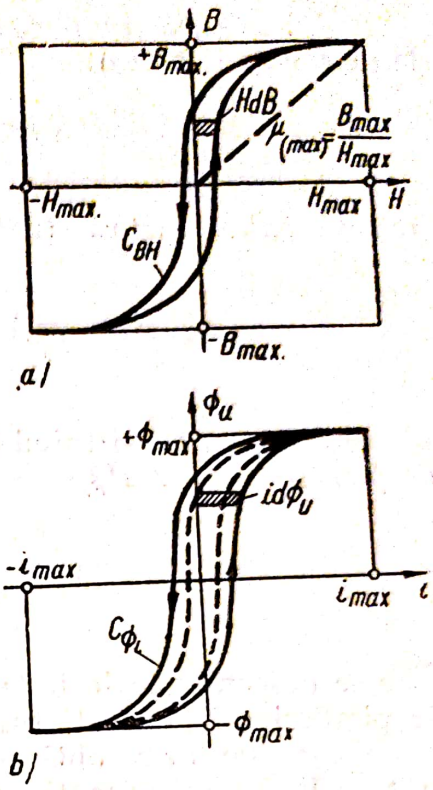


Fig 2.5.9
a — Curba de histerezis; *b* — Curba de magnetizare

Evaluarea teoretică a acestor pierderi permite obținerea valorii curentului în regim variabil

$$i = \frac{H}{N} \cdot l + \frac{k}{N^2} \cdot \frac{d\Phi_u}{dt} \qquad (2.5.12.)$$

unde $k > 0$ este constantă și depinde de lungimea miezului l și de rezistivitatea lui. De aci rezultă că în regim variabil, ciclul de magnetizare este mai lat decît în regim permanent (v. fig. 2.5.9. *b*, curba plină), adică *ciclul de magnetizare al unei bobine depinde de frecvență* (lățindu-se cu creșterea frecvenței) și de modul de variație în timp a fluxului magnetic.

Ecuația circuitului din fig. 2.5.8. *a* ținînd cont de (2.5.10), este

$$U = R \cdot i + \frac{d\Phi}{dt} = R \cdot i + L_d \frac{di}{dt} + \frac{d\Phi_u}{dt} \qquad (2.5.13.)$$

care conduce la schema echivalentă din fig. 2.5.14. *b*.

Determinarea curentului de regim permanent se face rezolvînd ecuațiile (2.5.11) și (2.5.13), pe cale grafo-analitică. De aci rezultă, că *nici în primă aproximație fluxul și curentul unei bobine cu miez de fier nu pot fi considerate în fază datorită existenței pierderilor în fier.*

— *Pierderile în fier.* Din bilanţul instantaneu al puterilor (scris pe baza ecuaţiei 2.5.13).

$$U \cdot i = R \cdot i^2 + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(L_d \frac{i^2}{2}\right) + i \frac{\mathrm{d}\Phi_u}{\mathrm{d}t} \qquad (2.5.14.)$$

rezultă *puterea activă* (puterea medie absorbită) P

$$P = \frac{1}{T_0}\int_0^T u \cdot i \cdot \mathrm{d}t = RI^2 + f \cdot \oint_{C_{\Phi_i}} i \cdot \mathrm{d}\Phi_u \qquad (2.5.15.)$$

ultimul termen constituind în cazul procesului de magnetizare real, *puterea de pierderi în fier* P_{Fe}

$$P_{Fe} = P - RI^2 = f \oint_{C_{\Phi_i}} i \cdot \mathrm{d}\Phi_u \qquad (2.5.16.)$$

care se descompune în puterea de pierderi prin histerezis P_H şi puterea de pierderi prin curenţi turbionari P_f (v. şi paragr. 2.3.5).

Expresiile lor se obţin prin integrare, însă în calcule se utilizează următoarele formule practice:

— pentru B_m (inducţia maximă) $< 10^4$ Gauss (1 Gauss $= 10^{-4}$ Tesla)

$$P_H = \left[a \frac{f}{10^2} \cdot \frac{B_m}{10^4} + b \frac{f}{10^2}\left(\frac{B_m}{10^4}\right)^2\right] \cdot G \qquad (2.5.17.)$$

— pentru $B_m > 10^4$ Gauss

$$P_H = \sigma_H \cdot \frac{f}{10^2}\left(\frac{B_m}{10^4}\right)^2 \cdot G \qquad \text{şi} \quad (2.5.18.)$$

$$P_f = \sigma_f \cdot \frac{f}{10^2}\left(\frac{B_m}{10^4}\right)^2 \cdot G \qquad (2.5.19.)$$

unde a, b, σ_H, σ_f sînt coeficienţii indicaţi în tabela 2.5.1, f, — frecvenţa în herz, G — greutatea fierului în kg.

Tabela 2.5.1

Grosimea tablelor în mm / Coeficientul	Tablă obişnuită			Tablă aliată	
	1	0,5	0,35	0,5	0,35
a [W/kg]	0,9	0,9	0,9	0,4	0,3
b [W/kg]	3,5	3,5	3,8	2,6	2,1
σ_H	4,4	4,4	4,7	3,0	2,4
σ_f	22,5	5,7	3,0	1,3	0,7

Scanned with OKEN Scanner

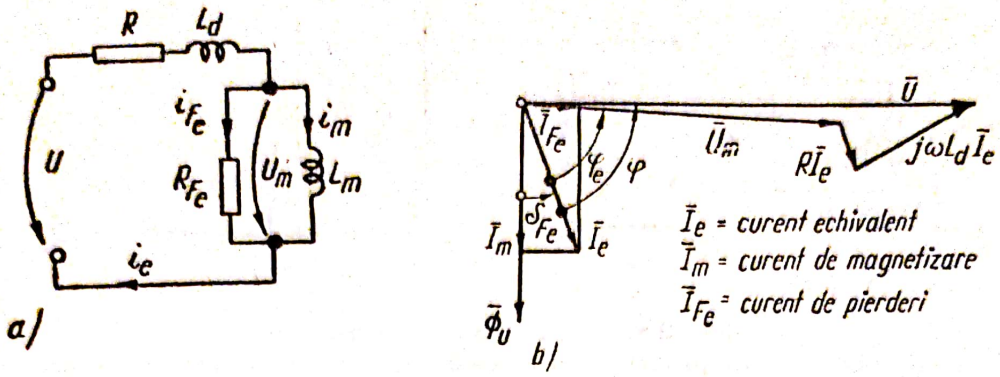


Fig. 2.5.10. Bobina cu miez de fier:
a — schema echivalentă; *b* — diagrama vectorială.

— *Schema echivalentă.* În aplicații se înlocuiește curentul deformat cu un curent sinusoidal echivalent

$$i_e = I_e \sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} + \delta_{Fe}\right) \tag{2.5.20.}$$

defazat în urma tensiunii utile cu $\varphi_e = \frac{\pi}{2} - \delta_{Fe}$, δ_{Fe} fiind unghiul de pierderi în fier. Din condițiile de echivalență rezultă

$$I_e = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}; \quad \sin \delta_{Fe} = \cos \varphi_e = \frac{P_{Fe}}{U \cdot I_e} \tag{2.5.21.}$$

și se poate înlocui bobina cu miez de fier cu un circuit liniar echivalent (v. fig. 2.5.10), care mai conține următoarele elemente:

$$R_{Fe} = \frac{U_m^2}{P_{Fe}}; \quad L_m = \frac{U_m}{\omega I_e \sin \varphi_e}; \quad \sin \varphi_e = \frac{R_{Fe}}{\sqrt{R_{Fe}^2 + \omega^2 L_m^2}} \tag{2.5.22.}$$

Calculul R_{Fe} și L_m se face în ipoteza $U_m \simeq U$, căderile de tensiune pe R și L_d fiind mici. Diagrama corespunzătoare schemei este dată în fig. 2.5.10.*b*.

b) Condensatorul cu pierderi. Condensatoarele reale au totdeauna pierderi de putere în dielectric, ale căror variații pot fi liniare sau neliniare (în cazul dielectricilor feroelectrici).

Aceste pierderi se datoresc atît imperfecțiunii izolației dielectricului — pierderi prin conducție, cît și fenomenul de isterezis — pierderi prin isterezis. Fenomenul de isterezis dielectric constă în rămînerea în urmă a inducției electrice $D(t)$ față de intensitatea cîmplui electric $E(t)$, în regim sinusoidal, acest lucru fiind reprezentat prin ciclul de polarizare electrică $D = D(E)$.

Condensatorul cu pierderi se poate reprezenta ca un element de circuit capacitiv, avînd curentul

$$i = I \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi_e) = I \sqrt{2} \sin(\omega t + |\varphi_e|) \tag{2.5.23.}$$

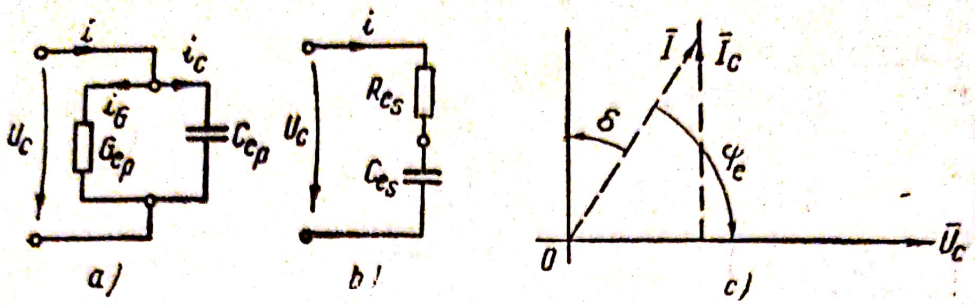


Fig. 2.5.11. Condensator cu pierderi:
a — schema echivalentă paralel; *b* — schema echivalentă serie; *c* — diagrama vectorială principială a unghiului de pierderi.

defazat înaintea tensiunii cu unghiul $-\varphi_e = |\varphi_e| > 0$ (v. fig. 2.5.11). Se pot construi scheme echivalente: conductanţă, capacitate echivalentă paralel sau rezistenţă, capacitate echivalentă serie, după cum se vede în figura 2.5.11, cu ajutorul cărora se poate face descompunerea pierderilor totale în pierderi prin conducţie şi prin histerezis. În practică nu este utilă această descompunere, ci se determină direct elementele schemelor echivalente, cunoscînd pierderile totale.

Materialul se va caracteriza prin *unghiul de pierderi totale* δ (fig. 2.5.11).

$$\delta = \frac{\pi}{2} - |\varphi_e| = \frac{\pi}{2} + \varphi_e \qquad (\varphi e < 0) \tag{2.5.24.}$$

Pentru tangenta unghiului de pierderi tgδ, numită şi *factor de pierderi*, se obţine expresia

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{G_{ep}}{\omega \cdot C_{ep}} = \omega \cdot C_{es} R_{es} \tag{2.5.25.}$$

G_{ep}, C_{ep}, R_{es}, şi C_{es} fiind elementele schemelor echivalente din fig. 2.5.11. *a* şi *b*.

c) Amplificatoare magnetice. Se bazează pe fenomenul de amplificare magnetică, care se poate studia cu ajutorul schemei de principiu din figura 2.5.12. *a*. Cele două înfăşurări N_a şi N_c sînt legate în serie cu rezistenţele R_a şi respectiv R_c şi conectate la sursele de tensiune alternativă U_a respectiv continuă U_c. Variaţia rezistenţei R_c — rezistenţa de comandă—, duce la variaţia curentului I_c prin înfăşurarea de comandă N_c şi deci la variaţia magnetizării miezului de fier. În circuitul de curent alternativ, aceasta va determina variaţia impedanţei circuitului, deci a curentului I_a din circuit. În cazul unei alegeri judicioase a condiţiilor de funcţionare, printr-o variaţie mică a curentului I_c se pot obţine variaţii mari ale lui I_a. Instalaţia amplifică, dacă puterea la ieşire este mai mare decît puterea absorbită pentru comandă.

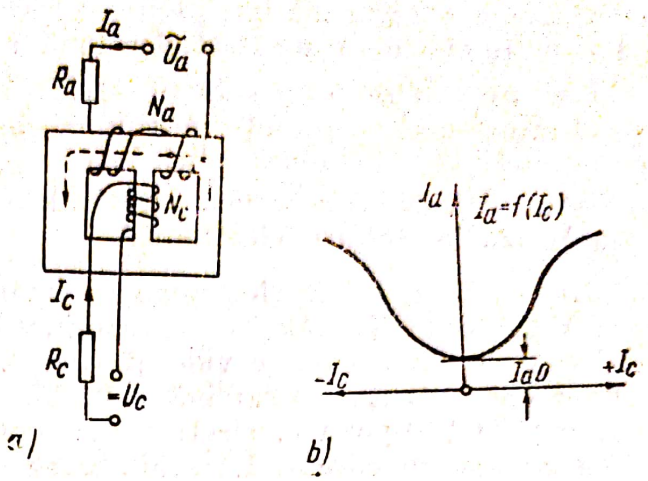


Fig. 2.5.12. Amplificator magnetic:
a — schema principială; *b* — caracteristica intrare-ieșire.

Relația $I_a = f(U_c)$ se numește caracteristica de intrare-ieșire a amplificatorului (fig. 2.5.12.*b*). Se observă că pentru $I_c = 0$, I_a este minim, avînd valoarea de repaus I_{ao}(care în practică trebuie micșorată cît se poate de mult), iar pentru valoarea lui I_c la care miezul este saturat, curentul I_a are valoarea maximă. Coeficienții de amplificare pentru curent K_c și putere K_p se calculează aproximativ cu

$$K_c = \frac{I_a}{I_c} \simeq \frac{N_c}{N_a}; \qquad K_p = \frac{I_a^2}{I_c^2} \cdot \frac{R_a}{R_c} \tag{2.5.26.}$$

N_a și N_c fiind numărul de spire al celor două înfășurări.

Se utilizează materiale magnetice cu pierderi mici, mare stabilitate, ciclu isterezis cît mai dreptunghiular, iar înfășurările se plasează astfel ca să nu apară pierderi suplimentare prin t.e.m. induse.

Domeniul de utilizare al amplificatoarelor magnetice este în comanda și reglajul automat a diferitelor utilaje și instalații.

2.5.3. **Tuburi electronice.** Funcționarea tuburilor electronice se bazează pe proprietatea electronilor metalelor de a ieși din masa acestora atunci cînd li se creează condiții favorabile, fenomen cunoscut sub numele de emisie electronică. Diferențierea tuburilor electronice se realizează tocmai în funcție de principiul care stă la baza fenomenului de emisie electronică.

— *Emisia termoelectronică* — Prin ridicarea temperaturii metalului, energia cinetică a electronilor se mărește, unii ajungînd să învingă bariera de potențial a metalului și să iasă din metal. Numărul lor crește cu creșterea temperaturii.

— *Emisia fotoelectronică* — Mărirea energiei electronilor pentru ca ei să poată învinge bariera de potențial se obține pe seama energiei cedate de un flux luminos sau altă formă de energie radiantă. Fenomenul este evident la metalele cu bariere de potențial coborîte (K, Cs etc.).

— *Emisia secundară* — Energia „electronilor secundari" se obține de la un flux de electroni primari care cad pe suprafața metalului. Electronii

secundari avînd energia mărită, părăsesc suprafaţa metalului, numărul lor putînd fi mult mai mare decît al electronilor primari.

— *Emisia autoelectronică* (electrostatică) — Un cîmp electric intens, poate smulge electroni de la suprafaţa metalului, chiar la temperatura ambiantă, dirijîndu-i în spre electrodul pozitiv.

În cele ce urmează vom indica principalele caracteristici şi utilizări ale celor mai uzuale tuburi electronice.

a) Dioda — Este tubul electronic cel mai simplu, cu doi electrozi, anodul A şi catodul C (încălzit direct sau indirect de un filament) înglobaţi într-un balon de sticlă care se videază (fig. 2.5.13, *a*). Electronii emişi de către catod vor constitui o sarcină spaţială între anod şi catod. Aplicînd anodului un potenţial pozitiv, electronii se vor deplasa spre anod iar prin diodă va circula un curent. La schimbarea polarităţii anodului curentul prin diodă va dispare, fenomen care ne dă posibilitatea utilizării diodei la redresarea curentului alternativ.

Pentru studiul funcţionării diodei se ridică caracteristica tensiunii anodice în funcţie de curentul anodic $U_a = f(I_a)$ sau prescurtat $U_a\, I_a$ (fig. 2.5.13. *b*). Tubul se utilizează pe porţiunea OA a caracteristicii, în care curentul anodic variază în funcţie de tensiunea anodică aproximativ după cunoscuta lege

$$I_a = k \cdot U_a^{3/2} \qquad (2.5.27.)$$

Depăşind punctul A al caracteristicii, se ajunge la curentul de saturaţie I_s care nu mai variază prin creşterea tensiunii anodice şi care creşte cu creşterea temperaturii catodului (corespunzător punctelor A', A'' din fig. 2.5.13. *b*).

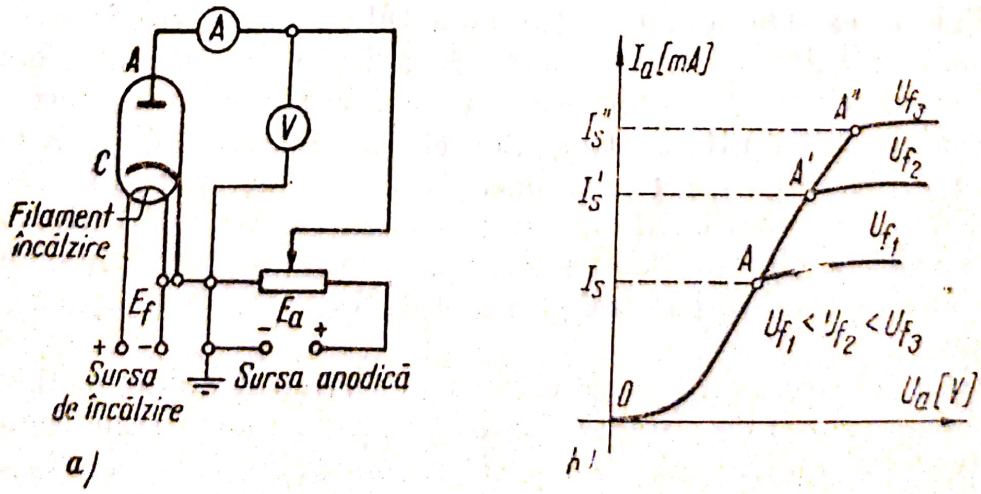


Fig. 2.5.13. Dioda:

a — montajul de bază; *b* — caracteristica $U_a - f(I_a)$ pentru diferite tensiuni de filament.

Parametrii care caracterizează funcționarea diodei sînt:

— Panta caracteristicii $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} = \text{tg}\,\alpha$ (2.5.28.)

— Rezistența internă $R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{1}{\text{tg}\,\alpha}$ [Ω], (2.5.29.)

modul de calcul (grafic) fiind ilustrat în figura 2.5.14.

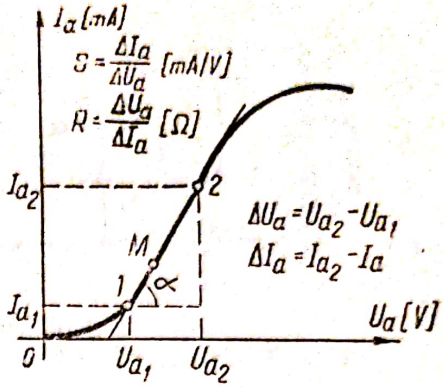
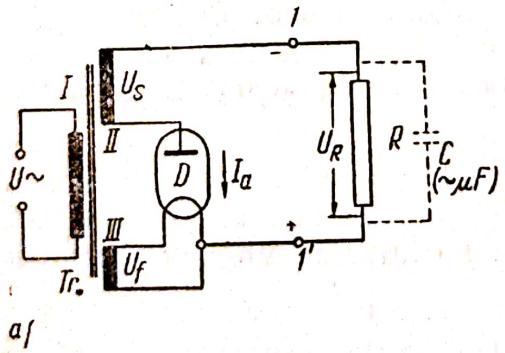
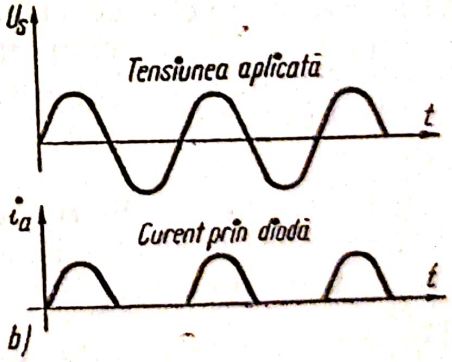


Fig. 2.5.14. Calculul parametrilor diodei.

Utilizările principale ale diodei sînt ca element *redresor* și ca element *detector*.

Dacă se aplică o tensiune alternativă sinusoidală la bornele unei diode, curentul prin diodă este unidirecțional și va avea aliura din fig. 2.5.15. *b*. Montajul pentru redresarea tensiunii alternative este indicat în fig. 2.5.15.*a*. Dioda se leagă în secundarul transformatorului *Tr* cu anodul la înfășurarea II. Catodul este încălzit prin înfășurarea III, iar rezistența R este rezistența de sarcină. Căderea de tensiune pe rezistența de sarcină, U_R, are aceeași variație în timp ca și curentul I_a(v. fig. 2.5.15. *b*), avînd valorile extreme $U_R = U_S \cdot \frac{R}{R + R_i}$ pentru $U_S > 0$ și $U_R = 0$ pentru $U_S < 0$, unde R_i este rezistența internă a diodei. Pentru a ajunge de la această tensiune pulsa-





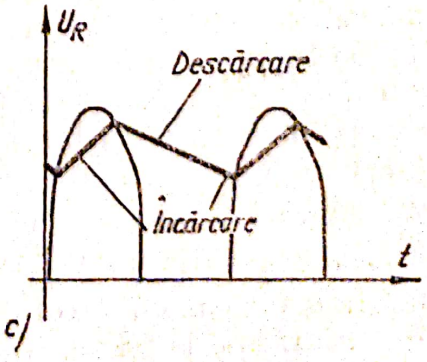


Fig. 2.5.15. Redresarea curentului alternativ cu ajutorul diodei.

a — schema de redresare; *b* — variația în timp a tensiunii alternative aplicate diodei și a curentului redresat; *c* — aplatizarea pulsațiilor cu condensator de filtraj.

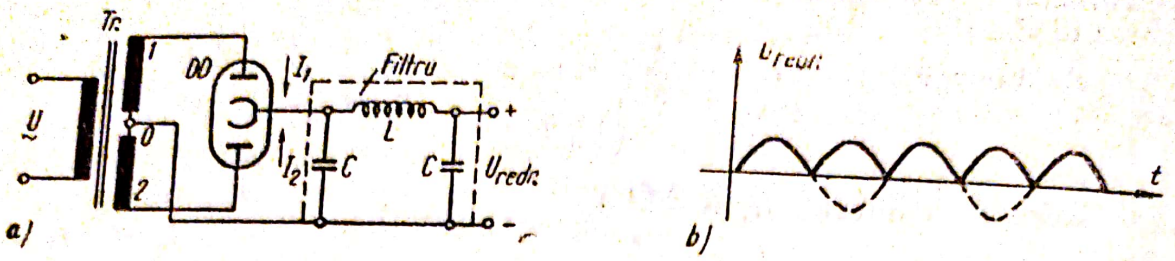


Fig. 2.5.16. Redresarea ambelor alternanţe:
a — schema de montaj; *b* — forma tensiunii redresate.

torie la o tensiune continuă, trebuie ca între bornele *1 — 1'* să se intercaleze un element numit filtru care are rolul de a netezi impulsurile. Cel mai simplu filtru este o capacitate *C* introdusă în paralel cu rezistenţa de sarcină (figurată punctat în fig. 2.5.15. *a*) care se încarcă în semialternanţa pozitivă şi se descarcă pe rezistenţa de sarcină în cea negativă, aplatizînd curba curentului (v. fig. 2.5.15. *c*). Creşterea capacităţii contribuie la micşorarea pulsaţiilor. Rezultate optime se obţin însă cu filtrele formate din capacităţi şi bobine de şoc (cu miez de fier), ca cel din figura 2.5.16. *a*.

Deobicei însă se redresează ambele alternanţe cu două diode sau cu o dublă diodă, conform montajului principial din figura 2.5.16. *a*.

În acest caz, cei doi anozi ai tubului dublă diodă *DD* sînt alimentaţi în antifază de cele două secţiuni 1 şi 2 ale secundarului transformatorului de reţea, astfel încît fiecare diodă a tubului dublă diodă conduce pe rînd, cîte o semiperioadă, în funcţie de polaritatea anodului său. Curenţii I_1 şi I_2 corespunzători celor două semiperioade vor da naştere unui curent de acelaşi sens în circuitul de sarcină. Forma curbei tensiunii redresate în acest caz este indicată în fig. 2.5.16. *b*.

Diodele cu gaz se aseamănă constructiv, în general cu diodele cu vid, avînd însă proprietăţi oarecum diferite, datorită prezenţei gazului în tub. Se numesc de obicei gazotroane şi se utilizează la redresarea curenţilor alternativi de valori mari ,de ordinul amperilor.

b) Trioda — Prin intercalarea unui al treilea electrod — grila — între anodul şi catodul unei diode se obţine trioda. Aplicînd între grilă şi catod o tensiune alternativă, aceasta va acţiona asupra fluxului de electroni ce se deplasează de la catod la anod, adică asupra curentului anodic. Din acest motiv a primit numele de grilă de comandă. Rezultă că în cazul triodei curentul anodic se poate modifica variind potenţialele U_a şi U_g ale anodului şi grilei în raport cu catodul.

Pentru studiul triodei se ridică caracteristicile statice $I_a = f(U_a)|_{U_g=\text{const.}}$ şi $I_a = f(U_g)|_{U_a=\text{const.}}$ (figura 2.5.18) cu ajutorul montajului din figura 2.5.17, neglijînd în acest caz curentul de grilă. Cu reostatele potenţiometrice R_{p1} şi R_{p2} se variază potenţialele U_a şi U_g faţă de catod iar comutatorul *K*

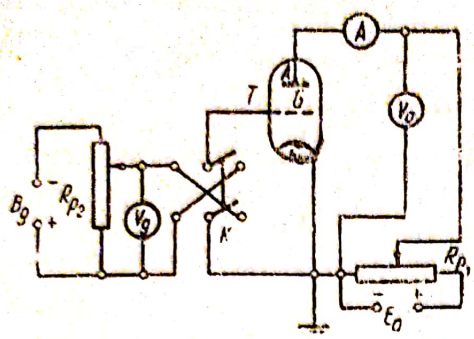


Fig. 2.5.17. Montajul triodei pentru ridicarea caracteristicilor statice.

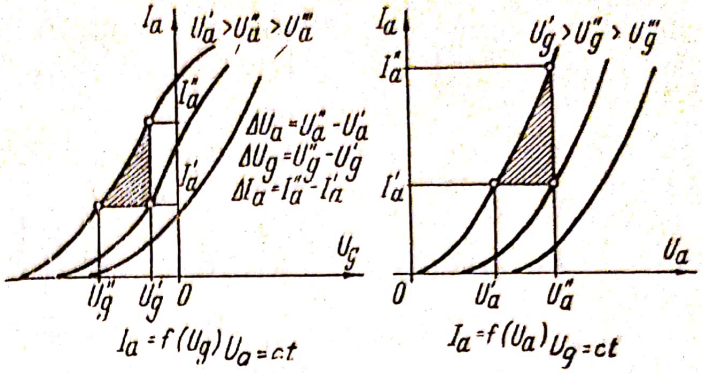


Fig. 2.5.18. Caracteristicile statice ale triodei și calculul grafic al parametrilor ei.

permite schimbarea polarității grilei față de catod. Din caracteristicile obținute se pot calcula parametrii triodei:

— panta $S = \left.\frac{\Delta I_a}{\Delta U_g}\right|_{U_a=\text{const.}}$ avînd ordinul de mărime $\sim 1 - 20$ mA/V

— rezistența internă $R_i = \left.\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}\right|_{U_g=\text{const.}}$ de ordinul $\sim 1 - 100$ kΩ

— factorul de amplificare $\mu = -\left.\frac{\Delta U_a}{\Delta U_g}\right|_{I_a=\text{const.}}$ de ordinul $\sim 5 - 100$.

După cum se vede acești parametrii sînt legați între ei prin relația

$$\mu = S \cdot R_i \tag{2.5.31}$$

numită *„ecuația internă a triodei"*, care se mai scrie sub forma:

$$D \cdot S \cdot R_i = 1 \tag{2.5.32}$$

unde $D = \frac{1}{\mu}$ este *factorul de pătrundere.*

Funcțiile principale ale triodei sînt: redresoare, amplificatoare de tensiune sau putere, oscilatoare (generatoare de tensiune alternativă), modulatoare (suprapunerea oscilațiilor de joasă frecvență, utile, peste oscilații de înaltă frecvență) etc.

Amplificatorul de tensiune amplifică o tensiune sinusoidală S legată în serie cu sursa de tensiune continuă în circuitul de grilă al triodei (v. fig. 2.5.19. *a*) astfel încît în circuitul anodic se obține o tensiune cu aceeași variație dar cu amplitudinea mult mai mare. Amplificarea tubului (sau etajului amplificator), G, este dată de raportul valorilor efective ale tensiunilor alternative U_a și U_g.

$$G = \frac{|\Delta U_a|}{|\Delta U_g|} \tag{2.5.33}$$

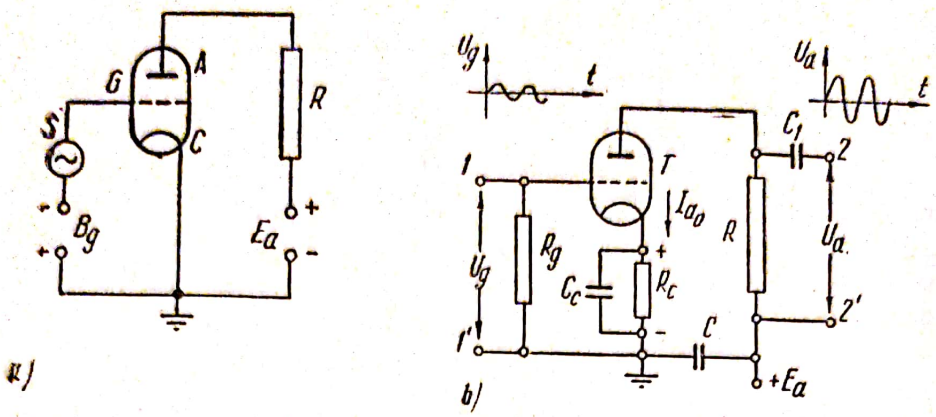


Fig. 2.5.19. Trioda ca amplificator:
a — principiul amplificării; *b* — schema amplificatorului cu triodă

unde ΔU_a este variaţia tensiunii anodice care apare la variaţia ΔU_g a tensiunii de grilă. Introducînd parametrii triodei μ, R_i se obţine

$$G = \frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R}} \qquad (2.5.34)$$

adică amplificarea tubului este cu atît mai mare (tinde spre valoarea μ) cu cît rezistenţa de sarcină R este mai mare.

Schema de principiu a unui amplificator de tensiune, de joasă frecvenţă este indicată în fig. 2.5.19. *b*. La bornele 11′ se cuplează tensiunea alternativă de amplificat iar la bornele 22′ se obţine tensiunea amplificată. Pentru a avea asigurată mereu o polaritate corectă a electrozilor tubului şi pentru a elimina sursa de tensiune continuă B_g din circuitul grilei (fig. 2.5.19. *a*) se introduc în schemă rezistenţa de grilă R_g şi grupul R_c, C_c numit grup de negativare automată, a căror rol este de a fixa regimul de funcţionare al tubului astfel: la bornele rezistenţei R_c apare o cădere de tensiune, datorită trecerii componentei continue I_{ao} a curentului anodic (care reprezintă curentul anodic existent în lipsa tensiunii alternative din circuitul grilei, adică la $U_g = 0$), care pozitivează catodul faţă de masă (v. fig. 2.5.19. *b*). Grila fiind legată conductiv, prin R_g, la masă, va avea deci un potenţial negativ faţă de catod, negativare care se va schimba la modificarea curentului anodic. Consensatorul C_c are rolul de a permite trecerea componentelor alternative a curentului anodic la masă (scurtcircuitarea curentului anodic alternativ), pentru a nu se modifica tensiunea la bornele rezistenţei R_c.

La bornele rezistenţei R se culege tensiunea amplificată. Rolul condensatorului C este de a scurtcircuita curentul anodic alternativ pentru ca acesta să nu treacă prin sursa de alimentare anodică E_a. Prin condensatorul C_1 se realizează legătura cu etajul următor, numindu-se condensator de cuplaj, acesta nepermiţînd trecerea componentei continue a curentului anodic, la etajul următor, ci doar a celei alternative.

Condiția esențială în funcționarea unui amplificator este de a amplifica semnalul aplicat la intrare fără distorsiuni, amplificîndu-l uniform pentru diferite frecvențe, asigurînd continuu proporționalitatea semnalului cu cel de intrare etc.

Amplificatorul de putere are rolul de a furniza pe impedanța de sarcină o anumită putere, funcționînd pe același principiu. De exemplu, ca impedanță de sarcină în circuitul anodic se leagă primarul unui transformator, în secundarul căruia apare un difuzor sau un element de execuție dintr-o instalație de automatizare.

Funcția de *oscilatoare* a triodei este utilizată pentru generarea oscilațiilor sinusoidale de diferite frecvențe, realizînd un montaj pe baza schemei principiale din fig. 2.5.20. Dacă vor fi îndeplinite condițiile de fază și de amplitudine între energiile circuitelor anodic și de grilă, prin cuplajul inductiv între bobina L a circuitului oscilant și L_g a circuitului de reacție, legat în circuitul grilei, o parte a energiei din circuitul anodic va fi adusă pe circuitul de grilă și montajul va intra în autoexcitație și va genera oscilații sinusoidale de amplitudine constantă, avînd frecvența egală cu frecvența de rezonanță a circuitului oscilant LC. Grupa R_gC_g asigură negativarea grilei, respectiv fixarea punctului de funcționare.

c) Tetroda și pentoda. Pentru remedierea principalelor inconveniente ale triodelor: capacitate grilă — anod mare, care determină reacții de la circuitul anodic la circuitul de grilă, pantă și factor de amplificare mici, s-a introdus un electrod suplimentar — grila ecran — între grila de comandă și anod, care ecranează catodul și grila de comandă față de anod, obținîndu-se tetroda.

Deși are proprietăți mult mai bune decît trioda, datorită emisiei secundare de electroni a anodului și grilei ecran (efect dinatron), tetroda nu are o amplificare constantă și fără distorsiuni. Pentru realizarea acestor deziderate este necesară eliminarea efectului emisiei secundare, lucru care se realizează la pentodă, obținută prin introducerea celei de-a treia grile, numită grilă supresoare, între grila ecran și anod (v. fig. 2. 5.21). Aceasta se leagă la catod și suprimă efectul dinatron. Proprietățile și parametrii pentodelor ($R_i \sim 10^6$ MΩ, panta 1,5 — 3 mA/V ajungînd pînă la 5—20 mA/V, factor

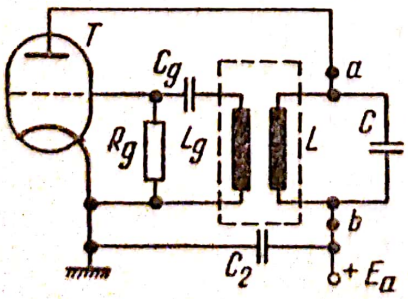


Fig. 2.5.20. Schema de principiu a oscilatorului cu cuplaj inductiv.

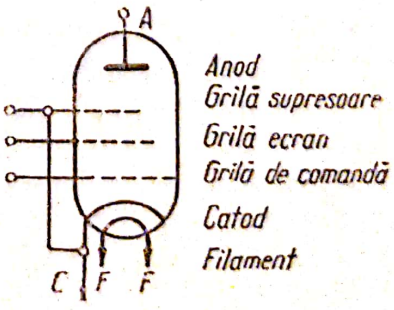


Fig. 2.5.21. Pentoda.

de amplificare mare 1500—2000) fac ca aceste tuburi să aibă o largă utilizare în instalaţiile electronice.

2.5.4. **Semiconductoare. Utilizarea dispozitivelor semiconductoare. Tranzistorul.** Semiconductoarele sînt materialele situate între conductoare şi dielectrici, avînd conductivitatea cuprinsă între $10^{-6} - 10^{-8}\ \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$. Reprezentanţii tipici sînt, germaniul, siliciul, borul, unii oxizi, unele sulfuri şi săruri metalice.

În cristalul metalic, electronii periferici sau de valenţă depăşesc numărul electronilor necesari asigurării coeziunii reţelei cristaline, conducerea curentului electric explicîndu-se prin deplasarea ansamblului de electroni liberi sub acţiunea cîmpului.

La semiconductoarele avînd patru electroni periferici, rezultă din structura reţelei cristaline că, în jur de 0 °K (zero absolut) nici un electron nu este liber şi conductivitatea este nulă. Cu ridicarea temperaturii unii electroni cîştigă o energie suficientă pentru a deveni liberi, astfel încît semiconductorul ajunge la o anumită conductivitate. Densitatea electronilor liberi creşte cu temperatura. Dar pe lîngă conductibilitatea electronică, care se petrece analog ca la metale, mai are loc şi aşa zisa „conductibilitate prin goluri". Legăturile care au pierdut un electron, lasă o „gaură" sau un „gol" care poate captura fie un electron care trece prin apropiere (recombinare), fie un electron al unei legături vecine. Datorită agitaţiei temice, va rezulta o deplasare a golurilor, echivalentă cu o deplasare de sarcini pozitive.

Cînd semiconductorul conţine impurităţi în cantităţi chiar foarte mici, proprietăţile sale se modifică esenţial. Dacă în reţeaua cristalină a germaniului pătrunde un atom cu cinci electroni de valenţă (P, Sb, As), patru din aceşti electroni vor fi puternic fixaţi în legăturile interatomice ale reţelei cristaline, al cincilea rămînînd foarte slab legat de atomul său; datorită agitaţiei termice, acest electron capătă o stare de mişcare liberă în cristal, părăsind atomul din care a provenit (fig. 2.5.22. a). Astfel de impurităţi capabile să dea naştere unor electroni liberi se numesc „donori". Dacă însă în locul unui atom de germaniu, în reţeaua cristalină pătrunde un atom trivalent (Al, B, Ga, In), una din legăturile reţelei rămîne nesatisfăcută — vacantă (v. fig. 2.5.22.b). Un electron al unei alte legături poate eventual completa legătura lipsă, lăsînd un alt loc „vacant" pentru un electron, în

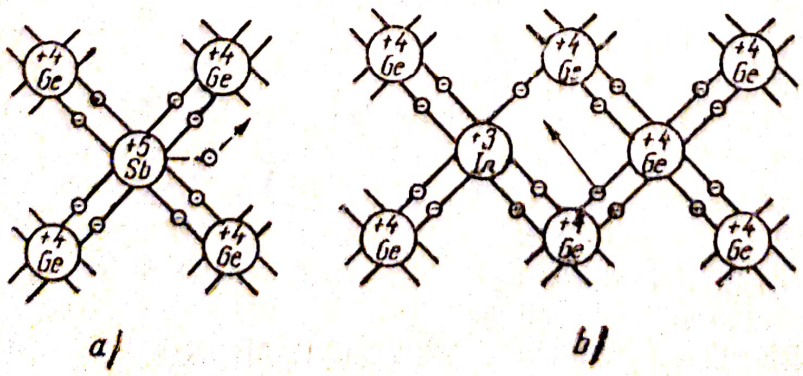


Fig. 2.5.22. Reţeaua cristalină a germaniului cu impurităţi

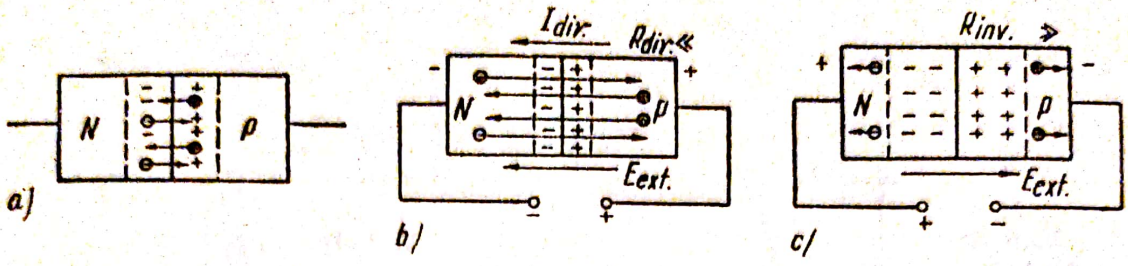


Fig. 2.5.23. Joncțiunea PN:
a — nepolarizată; *b* — polarizată direct; *b* — polarizată invers.

legătura interatomică din care a plecat, apărînd astfel un gol mobil în semiconductor. Aceste impurități care acceptă electroni, se numesc „acceptori". În primul caz, conductibilitatea se datorește electronilor negativi (N) iar în al doilea caz golurilor pozitive (P). După cum electronii sînt în majoritate sau în minoritate în raport cu golurile, conductibilitatea se numește de tip N sau de tip P.

Joncțiunea PN reprezintă un cristal semiconductor format din două regiuni: o regiune de tip P și una de tip N (fig. 2.5.23 a). În absența cîmpului exterior datorită fenomenului difuziei purtătorilor de sarcină, se formează un strat dublu electric la joncțiune. Variația potențialului în această regiune de trecere reprezintă o barieră de potențial, care, se opune difuziei electronilor din regiunea N și a golurilor în sens invers.

Aplicînd o tensiune la extremitățile joncțiunii se va obține o caracteristică $U = f(I)$ neliniară (v. fig. 2.5.24). Dacă polaritatea sursei coincide cu semnul purtătorilor de sarcină majoritari dintr-o regiune ($P: +$; $N: -$), joncțiunea este polarizată direct, sensul curentului I_{dir} corespunzînd difuziei spontane a electronilor din N spre P, deci prin joncțiune va circula un curent important (v. fig. 2.5. 23b). La schimbarea polarității sursei ($P: -$; $N: +$) joncțiunea este polarizată invers, orientarea cîmpului exterior opunîndu-se difuziei spontane a electronilor din N, spre P iar a golurilor din P spre N, crește grosimea stratului dublu, deci curentul prin joncțiune va fi foarte mic, joncțiunea prezentînd o rezistență mare (v. fig. 2.5.23 c). Joncțiunea PN posedă deci proprietăți redresoare.

Acest efect de redresare se utilizează în construirea diodelor semiconductoare, care sînt în esență joncțiuni PN. Diodele semiconductoare au aceleași proprietăți ca cele cu vid, dar nu necesită sursă de încălzire și au un volum mult mai redus. Spre deosebire de cele cu vid însă, ele nu sînt supape perfecte, existînd pentru polarizări inverse ale joncțiunii un curent invers (vezi fig. 2.5.24).

Redresoarele cu semiconductoare folosesc efectul de redresare al diodelor semiconductoare, fie sub forma diodelor redresoare cu joncțiuni, fie sub forma redresorilor uscați.

Redresorul uscat este constituit dintr-un strat subțire de semiconductor aplicat pe un metal, formînd un contact redresor; un contraelectrod aplicat pe un semiconductor repartizează curentul pe toată suprafața avînd și

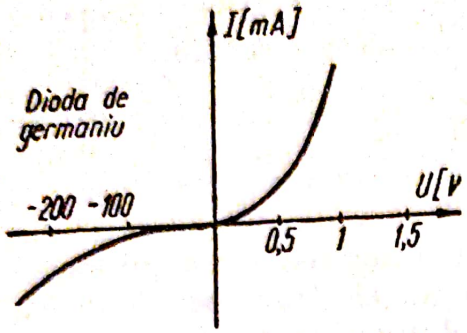


Fig. 2.5.24. Caracteristica neliniară a diodei semiconductoare

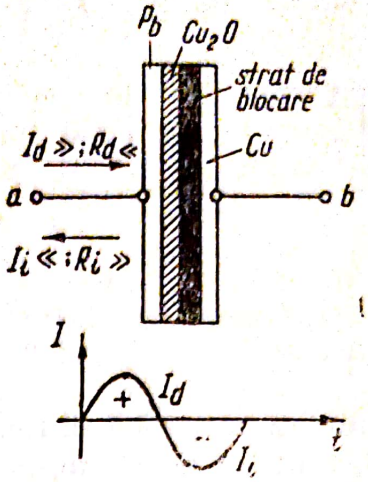


Fig. 2.5.25. Element redresor cu oxid de cupru (cuproxid).

un rol protector şi de răcire. Se utilizează frecvent redresorul cu cuproxid (fig. 2.5.25) de obicei ca traductor în instrumentele de măsură şi redresorul cu seleniu în montajele de redresare a tensiunii alternative.

Pentru sensul direct al curentului I_d, R_d este foarte mică, iar pentru sensul invers I_i, R_i este foarte mare, raportul lor determinînd coeficientul de redresare

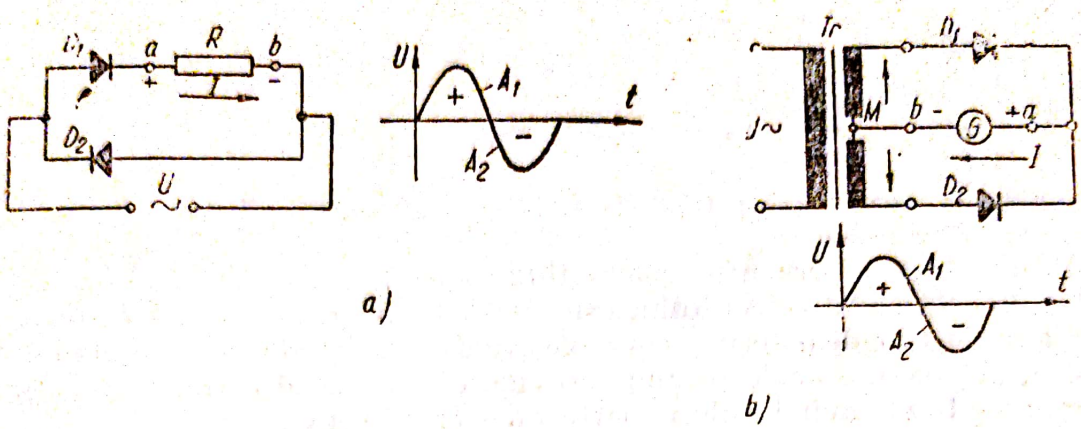
$$K_r = \frac{I_d}{I_i} = \frac{R_i}{R_d} \tag{2.5.35}$$

avînd valoarea cuprinsă între 500 şi 1000. Un astfel de element redresează o tensiune de 4—5V. la un curent de ordinul 10 mA (pentru redresorul cu cuproxid).

Redresoarele cu seleniu admit o tensiune de 0,4—0,65 V pe element, redresarea tensiunilor mai mari necesitînd legarea în serie a mai multor elemente. Densitatea admisibilă de curent este de 15—25 mA/cm².

Pentru redresarea tensiunilor mari este necesară legarea acestor elemente sau grupe de elemente înseriate în aşa fel ca să obţinem redresarea unei singure alternanţe sau a ambelor alternanţe. Schema pentru redresarea unei singure alternanţe este indicată în fig. 2.5.26. *a*, între bornele *a*, *b* conectîndu-se instrumentul de curent continuu sau un receptor R. Alternanţa A_1 este redresată de redresorul D_1 iar alternanţa A_2 trece prin redresorul D_2. Se obţine un curent pulsatoriu (v. paragr. 2.5.3.) prin receptorul R.

Pentru redresarea ambelor alternanţe se utilizează montajele cu două redresoare (fig. 2.5.26.*b*) sau montajul în punte cu patru redresoare (2.5.26.*c*). Aşezarea redresorilor se face astfel încît în ambele semiperioade să se obţină acelaşi sens al curentului redresat în ramura ab (în care am plasat un instrument de curent continuu). Montajul în punte este mai avantajos ne mai necesitînd transformatorul Tr cu priza mediană. M. În acest caz redresarea se face astfel: semiperioada pozitivă în sensul $D_1 - G - D_4$ (sensul I_1) iar în semiperioada negativă $D_2 - G - D_3$ (sensul I_2).



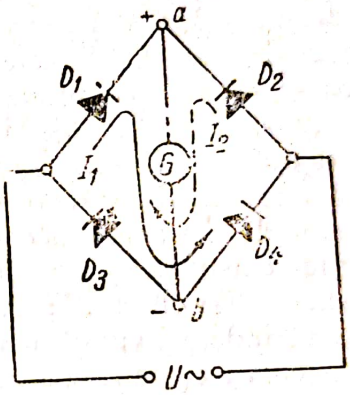


Fig. 2.5.26. Redresarea curentului alternativ:
a — redresarea unei alternanțe; *b* — redresarea ambelor alternanțe cu montaj cu 2 diode; *c* — redresor în punte

Aplatizarea curentului redresat se face cu ajutorul filtrelor, în același mod ca și la redresarea cu tuburi electronice (v. paragr. 2.5.3).

Tranzistoarele sînt triode cu semiconductoare, alcătuite din două joncțiuni $P-N-P$ sau $N-P-N$. Regiunea centrală se numește bază, iar cele laterale colector, respectiv emitor. Grosimea bazei este foarte mică (0,001—0,05 mm).

În funcționarea corectă un tranzistor PNP are polarizat emitorul pozitiv și colectorul negativ față de bază (v. fig. 2.5.27), deci joncțiunea $E-B$ polarizată direct, tensiunea U_{EB} fiind de 0,1 — 0,3 V. iar joncțiunea $C-B$ polarizată invers, tensiunea U_{CB} fiind de ordinul 3—12 V. Emitorul va transmite goluri în bază, care vor difuza spre joncțiunea bază — colector și datorită cîmpului puternic creat datorită polarizării inverse aplicate colectorului față de bază, vor fi atrase în regiunea colectorului și apoi antrenate spre electrodul colectorului creind un curent electric. Datorită grosimii mici a bazei, majoritatea golurilor injectate

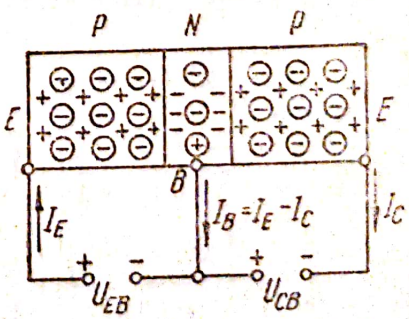


Fig. 2.5.27. Tranzistorul cu joncțiuni *PNP*.

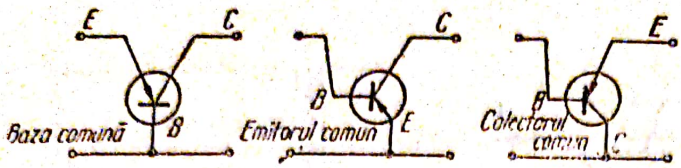


Fig. 2.5.28. Conectarea tranzistoarelor în montaje.

de emitor în bază vor fi regăsite în colector înainte de a se recombina cu electronii din bază.

Din acest motiv curentul colectorului este aproximativ egal cu cel al emitorului. Curentul colectorului este alcătuit din componenta I_C datorită golurilor injectate de emitor şi componenta de sens invers I_{CBO} numită curent rezidual al joncţiunii colectorului (provine din curentul invers al joncţiunii colector — bază) avînd valori foarte mici (1—10 μA).

Curentul bazei I_B provine din electronii ce se recombină cu golurile injectate în bază, avînd valoarea foarte mică ($< 5\%$ din I_C).

Pentru tranzistorul NPN polarităţile sînt inversate şi se obţine un curent principal de electroni. În montaje, tranzistorul se poate conecta cu orice electrod la masă (fig. 2.5.28), însă cel mai des utilizat este montajul cu emitorul la masă, caz în care se poate face corespondenţa cu montajul triodei cu catodul comun (făcînd corespondenţele emitor — catod ; bază — grilă ; colector — anod). În acest caz, se observă că prin variaţia tensiunii bazei, se poate acţiona asupra curentului colectorului, acesta crescînd cu creşterea tensiunii bazei. Fenomenul prezintă analogie cu comandarea curentului anodic al unei triode prin modificarea tensiunii grilei.

Tot prin această corespondenţă se poate explica efectul de amplificare al tranzistorului (v. fig. 2.5.29) : cu ajutorul unei tensiuni relativ mici aplicate bazei, se comandă curentul de emitor, practic egal cu cel de colector, care va produce o cădere de tensiune amplificată pe R_s urmărind variaţiile tensiunii aplicate pe bază.

Ţinînd cont de mărimile caracteristice ale funcţionării tranzistorului (fig. 2.5.30) se pot obţine multe caracteristici, însă în practică este utilizată de obicei caracteristica de ieşire (a colectorului)

$$I_c = f(U_{CE}) \text{ la } I_B = \text{const din fig. 2.5.30. b.}$$

Dintre elementele semiconductoare cu aplicaţii speciale mai menţionăm celulele fotoelectrice cu strat de baraj (cuproxid, seleniu, etc.), utilizate în

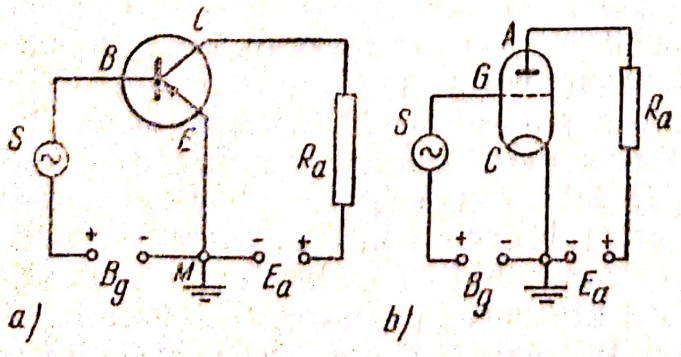


Fig. 2.5.29. Schema principială a amplificatorului :
a — cu tranzistor, montaj cu emitorul comun ;
b — cu triodă.

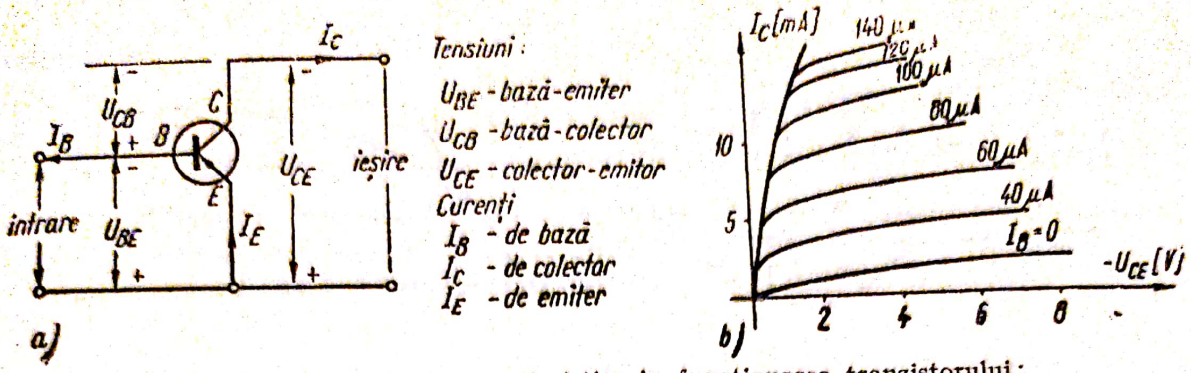


Fig. 2.5.30. Mărimile caracteristice în funcționarea tranzistorului; *a* — schema principială; *b* — caracteristica $I_c = f(U_{CE})_{I_B=const}$ pentru montajul cu emiter la masă.

aparatajul fotoelectric (v. paragraful 2. 2. 8 și 3.3.3); fotorezistențe a căror rezistență variază în funcție de variația iluminării; termistoare (v. paragraful 2.5.1 și 3.3.1); varistoare, utilizate pentru protecția contra supratensiunilor (v. paragraful 2.5.1); diode Zener, utilizate ca stabilizatoare de tensiune; tiristoare avînd structuri cu trei joncțiuni *PNPN* sau *PNPM* (*M*-metal), elemente tipice de comutație, deoarece funcționează stabil numai în două stări: conducție sau tăiere.

2.6. REGIMUL TRANZITORIU AL CIRCUITELOR ELECTRICE.

Orice schimbare a parametrilor R, L, M, C, precum și a regimului de funcționare, produce în circuitele electrice procese tranzitorii, de obicei de scurtă durată, corespunzînd unor *regimuri tranzitorii* prin care se trece de la starea inițială a circuitului la o stare de regim *permanent* (cînd curenții urmează aceeași lege de variație ca tensiunea aplicată circuitului). Valorile curenților și tensiunilor în regim tranzitoriu pot depăși valorile corespunzătoare în regim permanent, motiv pentru care calculul acestor regimuri este foarte important în practică.

2.6.1. **Regimul tranzitoriu al unui circuit** *RL*. *a) Conectarea la o sursă de tensiune constantă* (fig. 2.6.1.) Închizînd comutatorul C pe poziția 1 se poate scrie ecuația diferențială a circuitului

$$L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + Ri = E_0 \qquad (2.6.1.)$$

a cărei soluție este

$$i(t) = A\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t} + \frac{E_0}{R} \qquad (2.6.2)$$

unde $A \cdot \mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t}$ este soluția generală a ecuației omogene, reprezentînd componenta „liberă" a curentului, iar $\frac{E_0}{R}$ este soluția particulară a ecuației neomogene, reprezentînd componenta „forțată" a curentului.

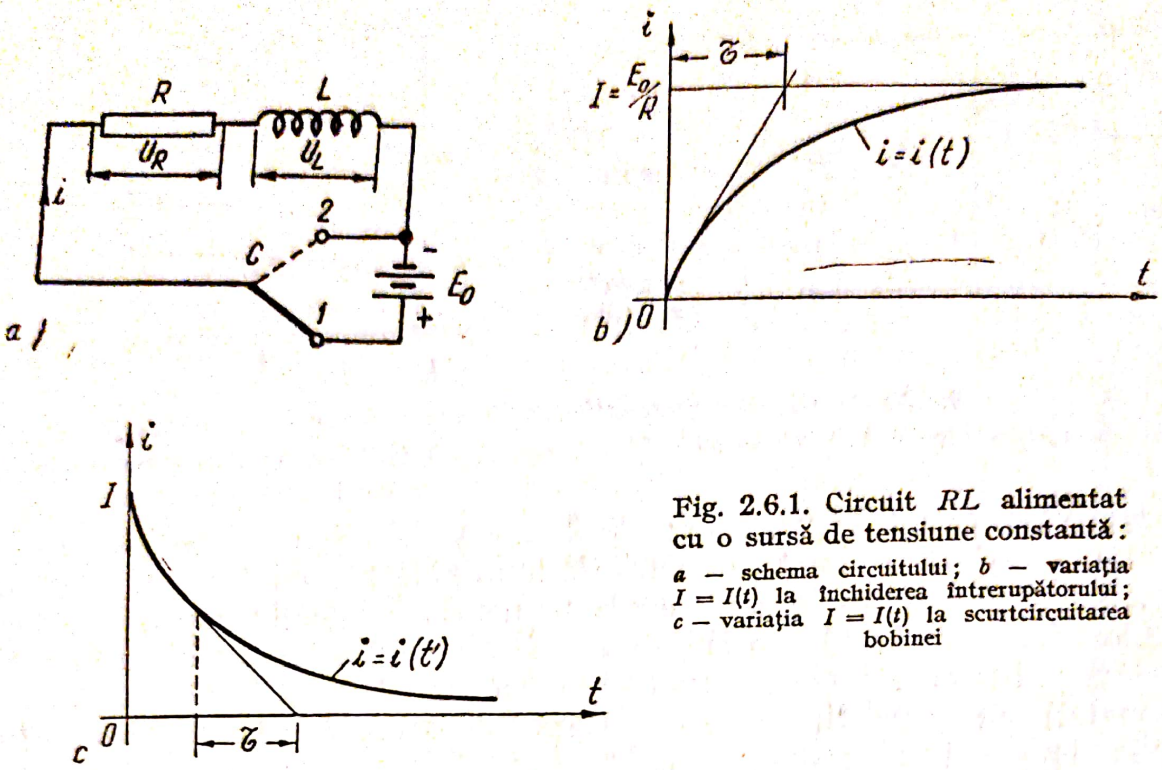


Fig. 2.6.1. Circuit *RL* alimentat cu o sursă de tensiune constantă: *a* — schema circuitului; *b* — variația $I = I(t)$ la închiderea întrerupătorului; *c* — variația $I = I(t)$ la scurtcircuitarea bobinei

Din condițiile inițiale se determină $A = -\frac{E_0}{R}$ rezultînd pentru curentul din bobină expresia (v. fig. 2.6.1.*b*):

$$i(t) = I\left[1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right] \tag{2.6.3.}$$

unde $I = \frac{E_0}{R}$ iar $\tau = \frac{L}{R}$ este „constanta de timp" și caracterizează viteza de variație a curentului, avînd dimensiunea timpului. Ea reprezintă timpul după care curentul i ar atinge valoarea I de regim permanent menținîndu-se constantă viteza de variație inițială $\left(\frac{di}{dt}\right)_{t=0}$. Deși teoretic i ar atinge valoarea de regim permanent I doar după un timp infinit lung, practic, pentru τ suficient de mic se poate considera că stabilirea curentului are loc instantaneu.

În cazul bobinelor cu miezuri feromagnetice τ poate avea valori mai mari, pînă la ordinul secundelor.

Căderea de tensiune pe bobină va avea expresia

$$U_L = L\frac{di}{dt} = E_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{2.6.4}$$

b) Scurtcircuitatea bobinei. Trecînd comutatorul *C* pe poziția 2, ecuația diferențială a circuitului va fi

$$L\frac{di}{dt} + Ri = 0 \tag{2.6.5.}$$

cu soluția:

$$i(t) = I \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{2.6.6.}$$

Variația curentului la scurtcircuitare este indicată în fig. 2.6.1. c.

2.6.2. **Regimul tranzitoriu al circuitului** *RC*. *a) Încărcarea unui condensator*. Închizînd comutatorul *K* pe poziția 1 (fig. 2.6.2. *a*) se poate scrie ecuația diferențială a circuitului (considerînd condensatorul inițial neîncărcat, la $t = 0$, $q = 0$).

$$R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = U \tag{2.6.7.}$$

a cărei soluție se obține analog ca în cazul bobinei

$$q = Q\left[1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right] \tag{2.6.8.}$$

iar constanta de timp este $\tau = RC$. Tensiunea la bornele condensatorului va fi

$$u_C = U\left[1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right] \tag{2.6.9.}$$

variația ei în timp avînd aliura din fig. 2.6.2. *b* identică cu cea din fig. 2.4.2.

Curentul de regim tranzitoriu va fi în acest caz

$$i(t) = C\frac{du_c}{dt} = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{2.6.10.}$$

b) Descărcarea condensatorului. Trecînd comutatorul *K* pe poziția 2 (fig. 2.6.2. *a*) condensatorul se va descărca, obținînd ecuația diferențială a circuitului.

$$RC = \frac{du_c}{dt} - u_c = 0 \tag{2.6.11}$$

cu soluția

$$u_c = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{2.6.12.}$$

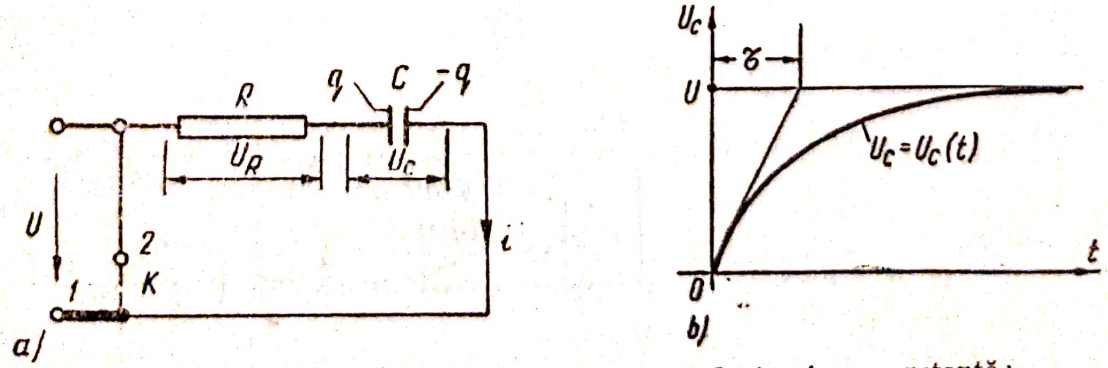


Fig. 2.6.2. Circuit *RC* alimentat cu o sursă de tensiune constantă:
a — schema circuitului; *b* — variația $U_c = U_c(t)$ la încărcare

2.6.3. **Regimul tranzitoriu al circuitului *RLC* serie.** În momentul $t = 0$ se închide întrerupătorul K şi circuitul din fig. 2.6.3. *a* va fi alimentat cu tensiunea constantă U. Presupunem că la momentul $t = 0$, $i(0) = 0$ şi $q(0) = 0$.

Ecuaţia diferenţială a circuitului va fi (v. paragraful 2.4.3)

$$L\frac{di}{dt} + R \cdot i + \frac{q}{C} = U \qquad (2.6.13.)$$

sau ţinînd cont că $i = \frac{dq}{dt}$ se va putea scrie

$$L\frac{d^2q}{dt^2} + R\frac{dq}{dt} + \frac{1}{C}q = U \qquad (2.6.14.)$$

Ţinînd cont că soluţia generală a ecuaţiei omogene este

$$q_1 = A_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 e^{\alpha_2 t} \qquad (2.6.15.)$$

unde α_1 şi α_2 sînt rădăcinile ecuaţiei caracteristice

$$\alpha_1 = -\delta + \omega \qquad \alpha_2 = -\delta - \omega \qquad (2.6.16.)$$

şi

$$\delta = \frac{R}{2L}; \quad \sigma = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}; \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (2.6.17.)$$

iar soluţia particulară a ecuaţiei neomogene este

$$q_2 = C \cdot U = Q \qquad (2.6.18.)$$

se obţine pentru soluţia generală a ecuaţiei diferenţiale (2.6.14)

$$q = Q - Q\frac{\omega_0}{\sigma} \cdot e^{-\delta t} \operatorname{sh}(\sigma t + \mu) \qquad \text{şi} \qquad (2.6.19)$$

$$i = Q\frac{\omega_0^2}{\sigma} \cdot e^{-\delta t} \operatorname{sh} \sigma t \qquad (2.6.20)$$

μ fiind definit de relaţiile $\operatorname{ch}\mu = \frac{\delta}{\omega_0}$; $\operatorname{sh}\mu = \frac{\sigma}{\omega_0}$ (2.6.21)

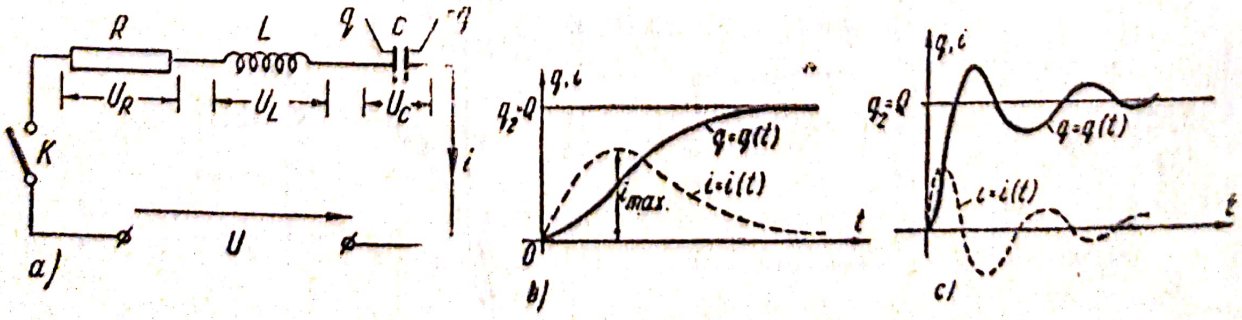


Fig. 2.6.3. Circuit *RCL* serie alimentat cu tensiune constantă:
a — schema circuitului; *b* — variaţia sarcinii şi curentului în regim periodic; *c* — variaţia sarcinii şi curentului în regim aperiodic

Se observă că forma de variație a curentului va depinde de natura reală sau imaginară a mărimii σ. În funcție de aceasta se disting:

— regimul aperiodic: i, q nu-și schimbă semnul, adică σ este real, sau $\delta > \omega_0$ și $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ (fig. 2.6.3. *b*)

— regimul oscilator: i, q își schimbă semnul, adică σ este imaginar, $\delta < \omega_0$ și $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$. Intensitatea curentului va avea o variație sinusoidală amortizată (fig. 2.6.3. *c*)

— regimul aperiodic critic, care se obține pentru $\sigma = 0$ adică $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL III

MĂSURI ELECTRICE

3.1. INSTRUMENTE DE MĂSURĂ ELECTRICE

3.1.1. Generalităţi. A măsura o mărime înseamnă a stabili raportul intre această mărime şi o alta de aceeaşi specie, aleasă ca unitate. Acest raport este tocmai *valoarea* (măsura) mărimii măsurate. După modul de stabilire a acestui raport metodele de măsură sînt *metode digitale* (cifrice)[1], în care rezultatul măsurării variază discret, aparatul afişînd valoarea sa numerică şi *metode analoge* în care rezultatul măsurării variază continuu pe scala aparatului, valoarea sa numerică fiind stabilită de operator. Schema funcţională a unei măsurători este indicată în figura 3.1.1.

Metodele de măsură se mai clasifică în *metode directe* cînd valoarea mărimii măsurate se obţine direct şi *metode indirecte* cînd valoarea mărimii se obţine prin calcul.

La efectuarea unei măsurători cu orice metodă, nu se obţine un rezultat exact, valoarea măsurată nefiind egală cu valoarea reală a mărimii respective. Diferenţa între acestea este tocmai *eroarea de măsură*, care nu se poate evalua riguros din cauza imposibilităţii efectuării de măsurători ideale. Eroarea de măsură este rezultanta *erorilor sistematice* (datorate imperfecţiunilor constructive ale aparatului), care se pot determina şi a *erorilor accidentale* datorate unor cauze obiective sau subiective, care influenţează accidental măsurarea şi se supun legii probabilităţii a lui Gauss..

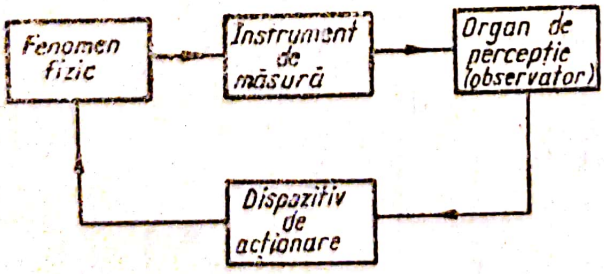


Fig. 3.1.1. Schema funcţională a unei măsurători.

[1] Tratarea metodelor şi aparatelor de măsură digitale nu intră în cadrul lucrării de faţă, care se va referi la metodele şi aparatele de măsură analoge.

Valoarea adevărată A a unei mărimi reprezintă raportul teoretic exact între acea mărime și unitatea ei de măsură. Notînd cu A_i valoarea măsurată, se definesc:

— eroarea absolută $\varepsilon_a = \Delta A_i = A_i - A$ (3.1.1)

— eroarea relativă $\varepsilon_r = \frac{\Delta A_i}{A} \cdot 100\ [\%] = \frac{A_i - A}{A} \cdot 100\ [\%]$ (3.1.2)

— corecția $C = -\Delta A_i$, rezultînd pentru valoarea adevărată

$$A = A_i + c \qquad (3.1.3)$$

3.1.2. **Clasificarea și caracteristicile instrumentelor de măsură.** Instrumentele sau aparatele de măsură electrice servesc la măsurarea mărimilor electrice și magnetice, ale parametrilor circuitelor electrice și a mărimilor neelectrice (vezi paragr. 3.4). Clasificarea lor se face după mai multe criterii, cele mai importante fiind:

— principiul de funcționare, care depinde de natura fenomenului care stă la baza funcționării instrumentului (tabela 3.1.1),

— mărimile măsurate, aparatele purtînd denumirea după unitățile acestora;

— poziția de funcționare: orizontală, verticală, înclinată;

— felul curentului: continuu, alternativ sau continuu și alternativ;

— domeniul de utilizare în funcție de clasa de precizie: de laborator, tehnice și de tablou,

— modul de întrebuințare: fixe și portabile etc.

Pe placa frontală a aparatului se află scala și o serie de simboluri și inscripții legate de funcționarea și exploatarea lui, acestea fiind indicate în tabela 3.1.2. În figura 3.1.2 este reprodusă placa frontală (cadranul) unui aparat de construcție românească.

Caracteristicile principale ale instrumentelor de măsură sînt:

a) Clasa de precizie. Se stabilește pe baza erorii raportate a indicației aparatului ε_{rap}

$$\varepsilon_{rap} = \frac{\Delta A_i}{A_n} \cdot 100\ [\%] \qquad \text{unde} \qquad (3.1.4)$$

ΔA_i este eroarea absolută de indicație a aparatului (v. rel. 3.1.1) iar A_n indicația maximă a scalei aparatului (nominală). Clasa de precizie este limita superioară a acestei erori și anume

$$\frac{(\Delta A_i)_{max}}{A_n} \cdot 100\ [\%] \qquad (3.1.5)$$

valorile sale standardizate fiind 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5. Cauzele frecvente ale erorilor aparatelor sînt: frecarea și dezechilibrarea axului; variația rezistenței, reactan-

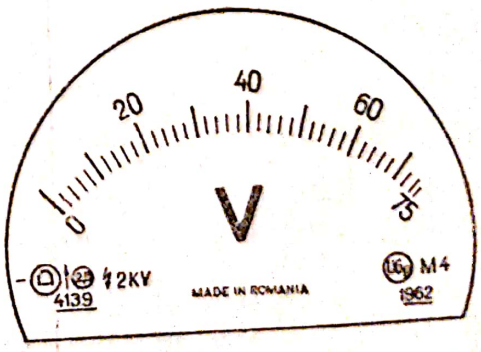
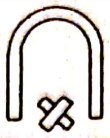
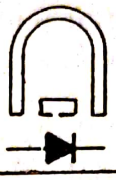
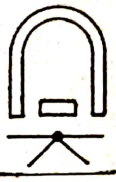
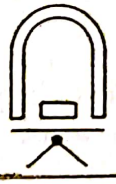
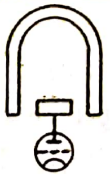
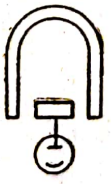


Fig. 3.1.2. Placa frontală a unui instrument de măsură de construcție românească.

Notaţii simbolice ale tipurilor instrumentelor de măsură

Tabela 3.1.1

Nr. crt.	Tipul dispozitivului de măsurat		Simbolul	Domeniul de utilizare
0	1	2	3	4
1	Magneto-electric	Cu cuplu rezistent mecanic		Voltmetru, ampermetru în curent continuu
2		Fără cuplu rezistent meconic. (logometru)		Măsurarea rezistenţelor mari
3		Cu redresare		Voltmetru, ampermetru în curent alternativ. Instrumente universale de tip "Multavi"
4		Cu termoelement cu contact		Ampermetru în curent continuu şi alternativ de joasă şi înaltă frecvenţă (~50 MHz)
5		Cu termoelement fără contact		Idem
6		Electronic *		Voltmetru în curent continuu şi alternativ de joasă şi înaltă frecvenţă. Instrumente universale Măsurători speciale.
7		Fotoelectric *		Luxmetre şi alte instrumente pentru măsurarea iluminărilor, reflexiei, etc.
8	Electromagnetic	Cu cuplu rezistent mecanic		Voltmetru, ampermetru, în curent continuu şi alternativ
9		Fără cuplu rezistent mecanic (logometru)		Frecventmetru, faradmetru
10		Cu rezonanţă		Frecventmetru

* Instrumentele electronice şi fotoelectrice au fost aşezate în clasa instrumentelor magnetoelectrice, deoarece ele utilizează dispozitive de măsură magnetoelectrice.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 3.1.1 (urmare)

0	1	2	3	4
11	Electrodinamic (fără fier)	Cu cuplu rezistent mecanic		Voltmetru, ampermetru, wattmetru în curent continuu și alternativ.
12		Fără cuplu rezistent mecanic		Frecvențmetru, faradmetru, măsurarea defazajului, în curent alternativ
13	Ferodinamic	Cu cuplu rezistent mecanic		Voltmetru, ampermetru și wattmetru în curent continuu și alternativ
14		Fără cuplu rezistent mecanic		Frecvențmetru, faradmetru, măsurarea defazajului, în curent alternativ.
15	Cu inducție	Cu cîmp de fugă		Contor electric de energie activă și reactivă, în curent alternativ
16		Cu cîmp învîrtitor		Voltmetru, ampermetru, wattmetru, în curent alternativ
17	Electrostatic			Voltmetru, în curent continuu și alternativ pentru înaltă tensiune
18	Termic	Cu fir cald		Ampermetru, wattmetru în curent continuu și alternativ de joasă și înaltă frecvență

Notă: Simbolizarea ecranării dispozitivului de măsură este următoarea :
- ecranare magnetică
- ecranare electrostatică

În interiorul acestora se desenează simbolul dispozitivului de măsură ecranat

ţelor inductive şi capacitive ale înfăşurărilor datorite variaţiei temperaturii, frecvenţei, efectului Joule-Lenz ; influenţa cîmpurilor exterioare ; etalonări incorecte, etc.

b) Sensibilitatea. Se determină raportînd numărul de diviziuni al scalei N la valoarea nominală a mărimii măsurate de instrumentul respectiv, A_n

$$S = \frac{N_{div}}{A_n} \left[\frac{\text{diviziuni}}{\text{unitatea mărimii măsurate}} \right], \tag{3.1.6}$$

Simbolurile și inscripțiile de pe placa frontală a unui instrument de măsură

Tabela 3.1.2

Nr. crt.	Semnificația simbolului sau inscripției		Simbolul	Nr. crt.	Semnificația simbolului sau inscripției		Simbolul
1	Principiul de funcționare		v. tabela 3.1.1	10	Poziția instrumentului	Verticală	sau
2	Denumirea instrumentului și mărimea măsurată		v. tabela 3.1.2	11		Orizontală	sau
3	Clasa instrumentului		0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5	12		Înclinată cu α°	α°
4	Curent continuu		— sau =	13	Tensiunea de încercare a izolației instrumentului	500 V	
5	Curent alternativ monofazat		~	14		Mai mari de 500 V (de ex. 2kV)	2kv sau 2
6	Curent alternativ trifazat	Semn general	3 ~	15		Nu se pretinde încercarea izolației	0
7		Sarcina echilibrată	≋	16	Existența documentului (schema, prospect, etc.) de care trebue să se țină cont la utilizare		
8		Sarcina dezechilibrată	≋	17	Dispozitiv de reglaj la zero		
9	Curent continuu și alternativ		≂				

NOTA: În afara acestor simboluri, pe scala aparatului este inscripționată firma producătoare, anul și numărul de fabricație, standardul căruia îi corespunde aparatul, diferite indicații în legătură cu rezistențele și inductanțele bobinelor, constante ale instrumentului, accesorii, scheme de legare, etc.

este constantă pentru instrumentele cu scală uniformă și variază la cele cu scală neuniformă.

c) Constanta instrumentului de măsură. Este inversul sensibilității

$$C = \frac{1}{S} = \frac{A_n}{N_{div}} \left[\frac{\text{unit. măr. măs.}}{\text{diviziuni}}\right] \qquad (3.1.7)$$

Valoarea mărimii măsurate se obține înmulțind numărul de diviziuni cu constanta instrumentului.

d) Consumul propriu de energie al instrumentului, trebuie să fie minim pentru a nu modifica regimul de funcționare al circuitului în care este introdus. El variază în limite largi, funcție de tipul instrumentului.

Principiul general de funcționare al instrumentelor de măsură electrice se poate rezuma la următoarele: la trecerea curentului prin instrument, partea sa mobilă, numită *echipaj mobil* deviază sub influența unui cuplu motor C_m și execută o rotație de un unghi α. Cuplului motor i se opune cuplul rezistent C_r necesar pentru obținerea unei poziții de echilibru (static sau dinamic) a echipajului mobil.

Scanned with OKEN Scanner

Cu toate că elementele constructive diferă de la instrument la instrument, ele se pot grupa în *elemente active*—care produc mişcarea echipajului mobil şi *elemente auxiliare*. Primele se vor trata la fiecare tip de instrument iar celelalte în cele ce urmează:

a) Suspensia echipajului mobil se realizează pe lagăre, pe fire tensionate sau ca suspensie liberă. La suspensia pe lagăre (tab. 3.1.3—I.1) axul 1, prevăzut la capete cu pivoţi din oţeluri speciale foarte dure 2, numite chirnere, se sprijină în lagăre din pietre dure (agat, rubin, etc.) 3 minute crapodine.

Suspensia pe fire tensionate (tab. 3.1.3 — I.2) numite şi întinzători foloseşte două benzi subţiri de bronz fosforos t_1 şi t_2 tensionate iniţial, pe care este fixat echipajul mobil m, servind în acelaşi timp şi pentru crearea cuplului rezistent. Suspensia simplă pe fir de torsiune (tab. 3.1.3—I.3) se realizează analog cu cea dublă, fiind utilizată la cele mai sensibile aparate.

b) Cuplul rezistent echilibrează cuplul motor rezultînd o proporţionalitate a deviaţiei α cu valoarea mărimii măsurate după o anumită lege, echilibrul static realizîndu-se prin imobilizarea echipajului mobil într-o poziţie corespunzătoare acestei deviaţii. Se obţine pe diferite căi astfel:

— pe cale mecanică, cu ajutorul resoartelor spirale sau elicoidale şi cu suspensii (tab. 3.1.3—II). Prin rotirea axului 1 (tab. 3.1.3—I. 1.a) arcul spiral 4 fixat de el şi de pîrghia de corecţie 5, se răsuceşte creind cuplul rezistent. Contragreutăţile 6 servesc la echilibrarea prealabilă a echipajului mobil, iar cu şurubul de corecţie 7 se dă o tensionare iniţială a arcului pentru ca acul indicator 8 să stea la zero în poziţie de repaus. În tabela 3.1.3-I. 1. b cuplul rezistent este produs de arcurile elicoidale 2, la rotirea axului 1. În cazul suspensiilor (tab. 3.1.3—II.5) la rotirea echipajului mobil m, răsucirea firelor s, respectiv t_1 şi t_2, creează cuplul rezistent;

— pe cale magnetică, prin tendinţa plăcii de oţel 1 (tab. 3.1.3 — II.6) aşezată iniţial în lungul liniilor cîmpului magnetului 2, de a reveni la poziţia iniţială cînd este rotită în jurul axului;

— pe cale electromagnetică, prin crearea cuplurilor antagoniste C_1 şi C_2 de către două bobine b_1 şi b_2 fixate rigid între ele, mişcîndu-se în jurul axei a, la trecerea curenţilor I_1 şi I_2 (tab. 3.1.3.—II.7). Se utilizează la logometre.

Realizarea echilibrului dinamic, adică a unei viteze de rotaţie constante a pieselor în mişcare de rotaţie, se bazează pe fenomenul inducţiei electromagnetice în piese metalice masive. La dispozitivul din tabela 3.13—II.8, curenţii turbionari induşi în discul ce se roteşte în cîmpul magnetului permanent interacţionează cu acesta, producînd cuplul rezistent. Se utilizează la contoare.

c) Amortizarea oscilaţiilor echipajului mobil este necesară pentru micşorarea timpului de oscilaţie în jurul valorii de echilibru, realizîndu-se cu dispozitive pneumatice sau magnetice. La amortizoarele cu aer (tab. 3.1.3—III.9) mişcarea echipajului mobil antrenează un piston sau o paletă fixată de ax, care prin comprimarea şi laminarea aerului din camera pneumatică amortizează oscilaţiile. Dispozitivele electromagnetice se bazează pe inducţia electromagnetică în piese metalice masive şi sînt cu placă sau cu cadru (tab. 3.1.3—III. 10, 11) executate din material neferomagnetic (aluminiu)

Tabela 3.1.3.

Elementele auxiliare constructive ale instrumentelor de măsură

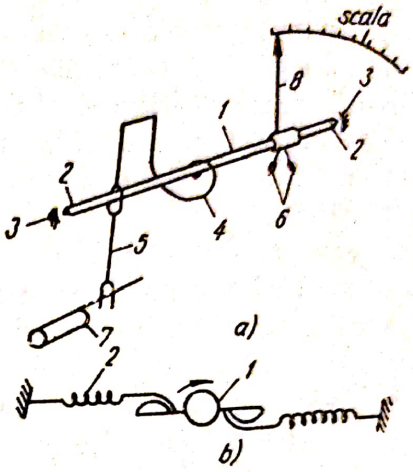
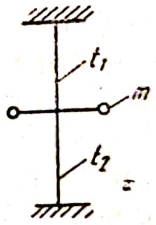
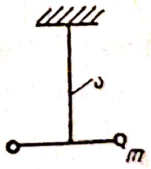
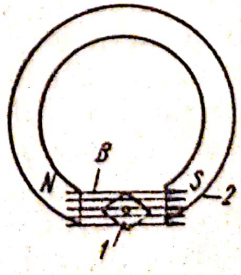
Nr. crt.	Elementul constructiv al instrumentului	Nr. tip	Tipuri constructive	Schema principală a elementului
0	1	2	3	4
I	Suspensia echipajului mobil	1	Pe lagăre *Obs*: În schemă este dat axul și dispozitivul pentru crearea cuplului rezistent, dispozitivul de corecție, acul indicator, scala și contragreutățile	
		2	Pe fire tensionate	
		3	Suspensie liberă	
II	Dispozitive pentru crearea cuplului rezistent (static)	4	Realizat pe cale mecanică cu arcuri spirale sau elicoidale	v. schema I.1.*a* și *b*
		5	Idem, cu suspensii	v. schema I.2 și I.3
		6	Realizat pe cale magnetică	

Tabela 3.1.3. (continuare)

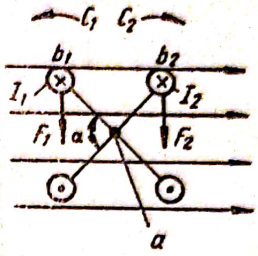
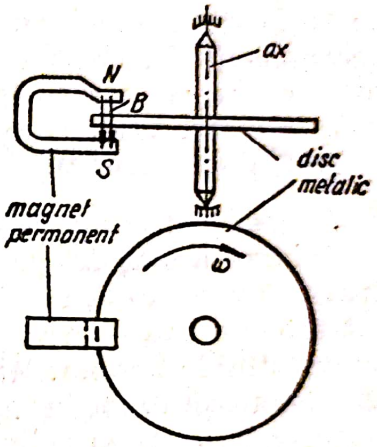
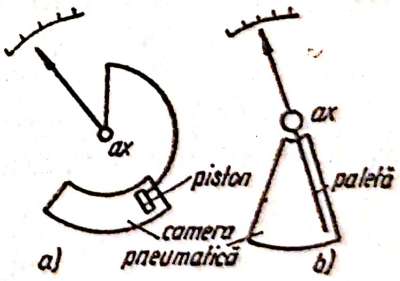
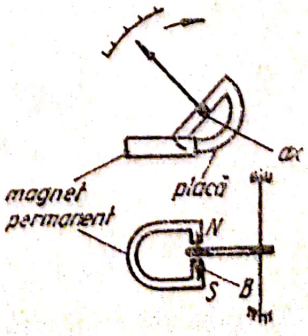
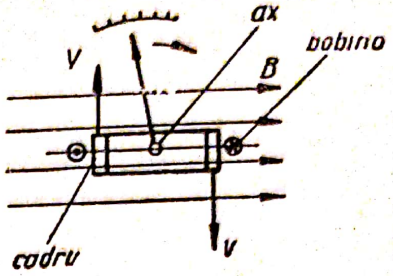
0	1	2	3	4
		7	Realizat pe cale electromagnetică	
II'	Dispozitive pentru crearea cuplului rezistent (dinamic)	8	Pe baza fenomenului inducției electromagnetice în piese masive	
III	Dispozitive de amortizare a oscilațiilor	9	Dispozitive pneumatice cu piston sau cu paletă	
		10	Dispozitiv electromagnetic cu placă	

Tabela 3.1.3. (continuare)

0	1	2	3	4
		11	Dispozitiv electromagnetic cu cadru	

în care se induc curenţi turbionari la mişcarea lor în cîmpul magnetului permanent B. Aceste piese sînt fixate pe axul echipajului mobil.

În continuare se vor trata principalele tipuri de instrumente cu citire (indicaţie) directă, adică care indică valoarea numerică a mărimii măsurate cu ajutorul dispozitivului lor indicator.

3.1.3. **Instrumente magnetoelectrice.** Instrumentul magnetoelectric se compune dintr-un magnet permanent 1 în întrefierul căruia se află bobina 2 pe cadrul de aluminiu 3, care se roteşte în jurul axului 4 (fig. 3.1.3). Cuplul rezistent este produs de arcurile spirale 5, care sînt totodată căile de aducere a curentului la bobină. Miezul cilindric de fier 8 are scopul obţinerii unui cîmp B radial şi omogen în întrefier.

La trecerea curentului prin bobină apare un cuplu motor C_m datorită forţei electromagnetice de interacţiune dintre cîmpul B şi curentul I, rezultînd o deviaţie de α diviziuni

$$C_m = F \cdot d = B \cdot l \cdot I \cdot d = k_1 \cdot I \qquad (3.1.8)$$

unde l este lungimea activă a conductorului, d — braţul cuplului şi deci k_1 o constantă constructivă a aparatului.

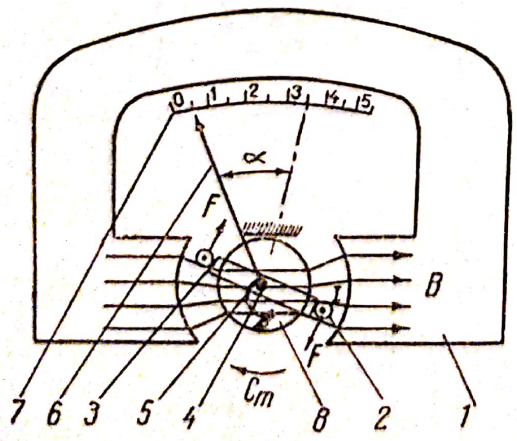


Fig. 3.1.3. Instrument de măsură magnetoelectric.

Cuplul rezistent este proporţional cu deviaţia

$$C_r = k_2 \cdot \alpha \qquad (3.1.9)$$

Din egalitatea celor două cupluri la echilibru $C_m = C_r$, rezultă deviaţia instrumentului

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} I = C \cdot I \qquad (3.1.10)$$

proporţională cu puterea întîia a curentului prin bobină, deci instrumentul va avea o scală uniformă (C fiind constanta sa).

Scanned with OKEN Scanner

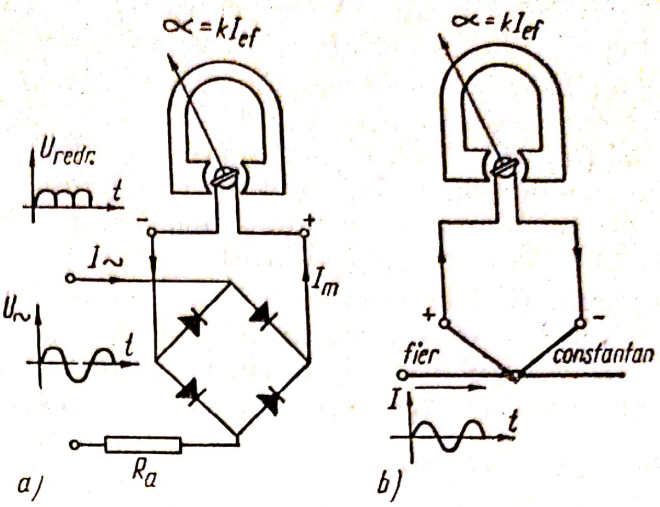


Fig. 3.1.4.
a — instrument magnetoelectric cu redresare în punte; *b* instrument magnetoelectric cu termocuplu.

Cadrul de aluminiu al bobinei formează dispozitivul de amortizare cu inducţie.

Instrumentele magnetoelectrice sînt sensibile şi precise, ajungîndu-se la clase 0,2 şi chiar 0,1, dar sînt relativ scumpe şi nu suportă suprasarcini, curentul trecînd prin arcuri şi bobine. Cel mai mare dezavantaj este însă faptul că nu pot fi utilizate în curent alternativ, deoarece la schimbarea sensului curentului prin bobină, se schimbă sensul deviaţiei. Ele se pot utiliza în curent alternativ dacă sînt cuplate cu un redresor (fig. 3.1.4. *a*) sau cu un termocuplu (fig. 3.1.4. *b*) iar deviaţia lor este proporţională cu valoarea medie a curentului redresat şi se pot utiliza pînă la frecvenţe de 10^4 Hz, însă precizia lor nu este mare.

Instrumentele cu termocuplu au deviaţia proporţională cu t.e.m. termoelectrică, ori aceasta fiind proporţională cu puterea radiată de conductorul prin care trece curentul ($P = R \cdot I^2$), rezultă că ele se pot utiliza şi la măsurarea curenţilor periodici, pînă la frecvenţe de 10^2 MHz, scala fiind gradată direct în valori efective.

O altă posibilitate de utilizare în curent alternativ este oferită de instrumentele electronice, avînd dispozitivul de măsură magnetoelectric.

Instrumentele magnetoelectrice se utilizează ca ampermetre, voltmetre şi ohmmetre.

Galvanometrele sînt instrumente magnetoelectrice de foarte mare sensibilitate, fiind construite de obicei cu fir de suspensie (fig. 3. 1.5). Torsiunea firului se poate regla din exterior. Aparatul este foarte fragil fiind necesare multe precauţiuni la utilizare (trebuie ferit de vibraţii mecanice, curenţi de aer, etc.) Pentru mărirea sensibilităţii se reduce cuplul rezistent realizînd arcurile spirale de aducere a curentu-

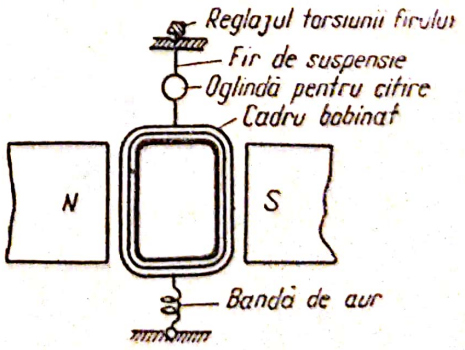


Fig. 3.1.5. Principiul constructiv al galvanometrului magnetoelectric.

lui din foițe de aur. Astfel se ajunge la constante de ordinul 10^{-9} A/mm. și la perioadă de oscilație proprie de 15 s.

Logometrul magnetoelectric este instrumentul la care măsurarea se face prin stabilirea raportului între cei doi curenți care-i străbat bobinele 11′ și 22′ (fig. 3.1.6. *a*). Cuplul rezistent este creat pe cale electromagnetică iar aducerea curenților la bobine se face prin benzi metalice elastice, care au un cuplu rezistent practic nul. Din acest motiv în repaus, indicatorul se află într-o poziție oarecare (echilibru indiferent).

Presupunînd bobinele 11′ și 22′ legate solidar la 90°, la trecerea curenților I_1 și I_2 prin ele, cuplurile C_1 și C_2 vor imprima sistemului o mișcare de rotație în jurul axului, deviația rezultînd din egalitatea acestor cupluri la echilibru $C_1 = k_1 \cdot I_1 \cdot B \sin \alpha \quad C_2 = k_2 \cdot I_2 \cdot B \,(\sin (90 - \alpha) = k_2 \cdot I_2 \cdot B \cos \alpha$.

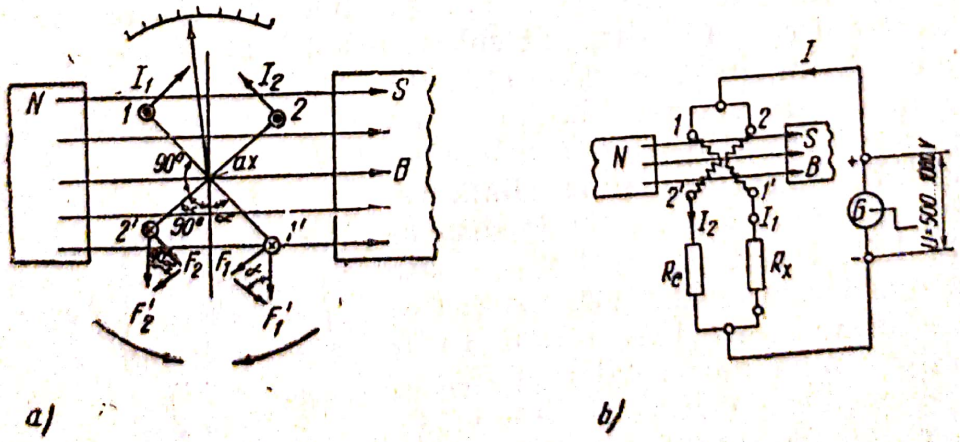
Dacă $C_1 = C_2$ avem

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{k_2 \cdot I_2 \cdot B}{k_1 \cdot I_1 \cdot B} = K \cdot \frac{I_2}{I_1} \text{ și } \alpha = \operatorname{arc\,tg}\, k \cdot \frac{I_2}{I_1} \qquad (3.1.11)$$

Dispozitivul se utilizează ca *megohmmetru* pentru măsurarea rezistenței de izolație (fig. 3.1.6. *b*). Alimentarea se face de la un generator de c.c. înglobat în aparat, *G*. Scriind expresiile curenților prin bobine $I_1 = \frac{U}{R_x}$ și $I_2 = \frac{U}{R_e}$, unde R_e este o rezistență etalon (de comparație), rezultă deviația

$$\alpha = \operatorname{arc\ tg}\, k \cdot \frac{I_2}{I_1} = \operatorname{arctg}\ k \cdot \frac{R_x}{R_e} = \text{const. } R_x \qquad (3.1.12)$$

adică logometrul măsoară valoarea rezistenței R_x, care se citește pe scala gradată neuniform în MΩ.



a/ b/

Fig. 3.1.6. Logometrul magnetoelectric:
a — schema principială; *b* — schema principială a megohmmetrului.

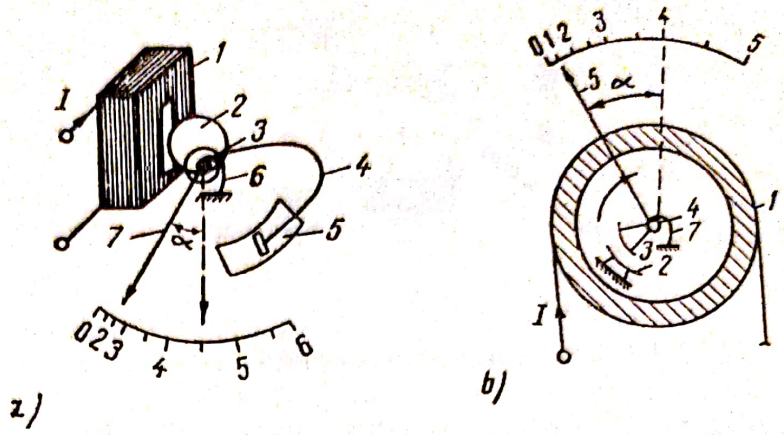


Fig. 3.1.7. Instrumente electromagnetice:
a — cu bobină plată (cu atracție);
b — cu bobină rotundă (cu respingere).

3.1.4. Instrumente electromagnetice. *a) Instrumente fără rezonanță.* Se bazează pe acțiunea exercitată de cîmpul magnetic al unei bobine parcurse de curentul de măsurat I asupra unei piese feromagnetice, care constituie echipajul mobil al aparatului. Se construiesc în două variante: *cu atracție* (sau cu bobină plată) — fig. 3.1.7. *a* — și *cu respingere* (cu bobină rotundă) - fig. 3.1.7. *b*.

Instrumentul cu atracție este constituit din bobina plată *1* al cărei cîmp magnetic atrage placa de fier moale *2*, care se rotește în jurul axului *3* de care este fixat și acul indicator *7*. Cuplul rezistent este creat de arcul spiral *6* iar amortizarea este pneumatică *4* și *5*).

La instrumentul cu bobină rotundă, cîmpul magnetic al bobinei *1*, magnetizează la fel plăcile de fier moale *2* (fixă) și *3* (mobilă în jurul axului *4*) care se vor respinge. Indicatorul este legat solidar cu axul. Cuplul rezistent și amortizarea se realizează ca și la varianta cu atracție.

Cuplul motor se obține în ambele cazuri din teorema forțelor generalizate

$$C_m = \left(\frac{dW_m}{d\alpha}\right)_{I=ct} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha} \qquad (3.1.13)$$

unde $W_m = \frac{1}{2} LI^2$ este energia magnetică proprie a bobinei parcurse de curentul I. Cuplul rezistent fiind $C_r = k \cdot \alpha$ rezultă deviația

$$\alpha = k \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} \cdot I^2 \qquad (3.1.14)$$

proporțională cu pătratul curentului, deci instrumentele electromagnetice au scala neuniformă. Uniformizarea scalei se face fie acționînd asupra factorului $\frac{dL}{d\alpha}$, fie empiric asupra formei paletei mobile.

b) Instrumente cu rezonanță. Sînt compuse dintr-o placă de oțel *2* (fig. 3.1.8) fixată pe postamentul *1*, care are o mică mobilitate după axa lui lon-

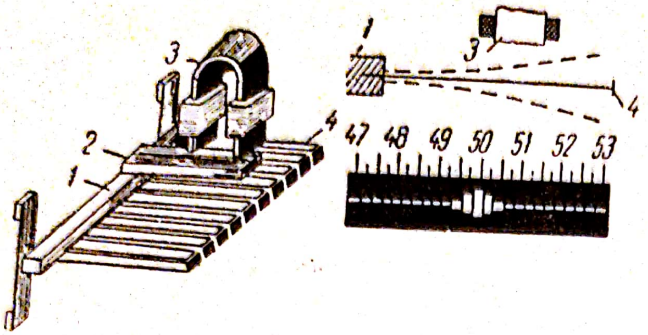


Fig. 3.1.8. Frecvenţmetru cu vibraţii.

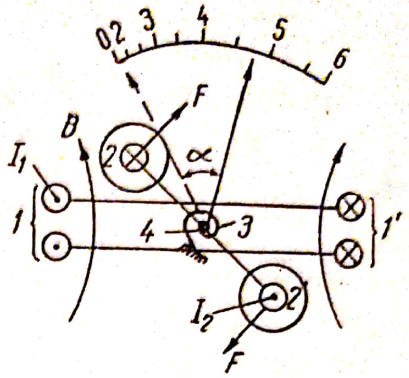


Fig. 3.1.9. Dispozitiv de măsură. electrodinamic

gitudinală. Pe postament sînt fixate şi lamelele elastice *4*, a căror frecvenţă de oscilaţie proprie este egală cu dublul frecvenţei de măsurat, diferenţa între frecvenţele proprii de oscilaţie a două lamele vecine fiind de 0,5 Hz.

Cînd prin bobina electromagnetului *3*, trece curentul I, sistemul mobil este atras de electromagnet cu o frecvenţă egală cu dublul frecvenţei curentului I. Lamela are frecvenţa de oscilaţie proprie egală cu dublul frecvenţei curentului din circuit va avea o amplitudine de oscilaţie maximă, indicînd astfel valoarea ei (fig. 3.1.8). Instrumentul poartă denumirea de frecvenţmetru cu vibraţii şi se utilizează pentru frecvenţe între 10—1500 Hz.

Instrumentele electromagnetice sînt simple, ieftine, robuste şi rezistă la supraîncărcări fiind folosite şi în c.c. şi în c.a. Au clasa de precizie mai mică decît cele magnetoelectrice (0,5—1,5), datorită fenomenelor ce apar la magnetizarea plăcilor.

3.1.5. **Instrumente electrodinamice.** Se bazează pe apariţia forţei electrodinamice între doi conductori parcurşi de curent. Instrumentul electrodinamic este compus din bobina mobilă 22′ (fig. 3.1.9) şi bobina fixă 11′ (constituită din două secţiuni) care creează cîmpul magnetic uniform B. Cuplul rezistent este creat de arcul spiral 3 fixat de axul 4.

La trecerea curenţilor I_1 şi I_2 prin bobine, forţele electrodinamice creează cuplul motor C_m[1]

$$C_m = k_1 \cdot I_1 \cdot I_2 \tag{3.1.15}$$

iar din condiţia de echilibru $C_m = C_r$ ştiind că $C_r = k_2 \cdot \alpha$ rezultă deviaţia

$$\alpha = k \cdot I_1 \cdot I_2 \tag{3.1.16}$$

proporţională cu produsul curenţilor, deci scala va fi neuniformă, exceptînd wattmetrele. Schimbînd sensul curentului în ambele bobine, sensul cuplului motor nu se schimbă, deci instrumentele electrodinamice se pot utiliza atît în curent continuu cît şi în alternativ.

---

[1] Cuplul motor se determină din teorema forţelor generalizate pe baza energiei de interacţiune :

$$W_m = M_{12} \cdot I_1 \cdot I_2$$

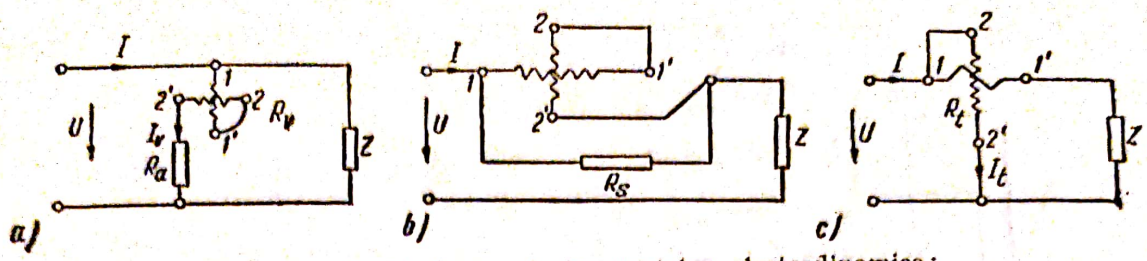


Fig. 3.1.10. Utilizarea instrumentelor electrodinamice:
a — voltmetru; *b* — ampermetru; *c* — wattmetru.

Instrumentele electrodinamice se construiesc în două variante: *fără fier* (foarte precise dar sensibile la cîmpuri exterioare perturbatoare) şi *cu fier* sau *ferodinamice* (au cuplu motor mult mai mare dar au precizia scăzută datorită curenţilor turbinari şi fenomenului de histerezis). În general au sensibilitate mare, clasa de precizie mare (0,2—0,5) dar sînt dezavantajate de consumul mare de energie, preţ de cost ridicat şi nu suportă suprasarcini.

Voltmetrul electrodinamic se obţine legînd bobinele 11′ şi 22′ în serie şi instrumentul în paralel în circuit (fig. 3.1.10. *a*). Ele vor fi parcurse de acelaşi curent $I_v = U/R_v$, deci deviaţia α se poate scrie

$$\alpha = C_v \cdot U^2 \tag{3.1.17}$$

adică este proporţională cu patratul tensiunii, deci scala e neuniformă.

Ampermetrul electrodinamic se obţine legînd cele două bobine în serie în circuit (fig. 3.1.10. *b*) şi fiind străbătute de curentul I, deviaţia va fi

$$\alpha = C_A \cdot I^2 \tag{3.1.18}$$

adică proporţională cu patratul curentului, deci scala neuniformă.

Wattmetrul electrodinamic are bobina fixă 11′ legată în serie în circuit, se numeşte *bobină de curent* (fig. 3.1.10. *c*) şi este parcursă de curentul I absorbit de receptor, iar bobina mobilă 22′ legată în paralel se numeşte *bobină de tensiune* şi aplicîndu-i-se tensiunea U de alimentare a circuitului, prin ea va trece curentul $I_t = U/R_t$ (R_t fiind rezistenţa bobinei de tensiune). În acest caz deviaţia instrumentului este

$$\alpha = C \cdot I \cdot I_t = C \cdot I \cdot \frac{U}{R_t} = C_w \cdot U \cdot I = C_w \cdot P \tag{3.1.19}$$

proporţională cu puterea din circuit, deci scala este uniformă.

Logometrul electrodinamic se utilizează la măsurarea mărimilor şi parametrilor din circuitele de curent alternativ: capacitate, frecvenţă, defazare, etc. Principiul de funcţionare şi constructiv îi asigură o deviaţie proporţională cu raportul curenţilor din cele două bobine ale echipajului mobil, domeniul de utilizare fiind determinat de modul de conectare în circuit (v. 3.2.5).

3.1.6. **Instrumente cu inducţie.** Dispozitivele de măsură cu inducţie se bazează pe interacţiunea între fluxurile magnetice create de bobinele par-

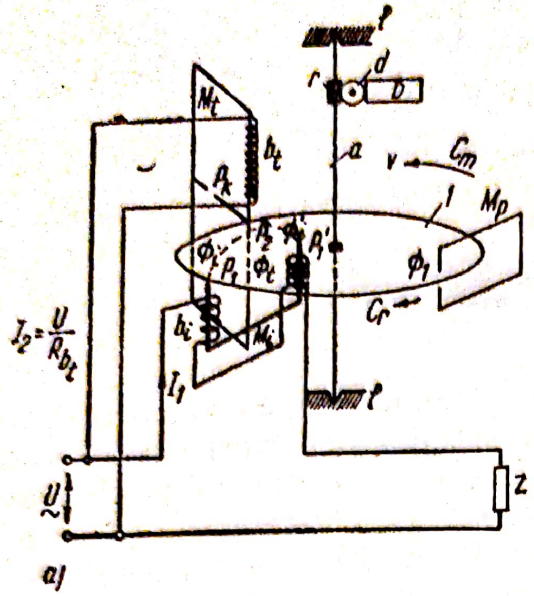


Fig. 3.1.11. Contorul cu inducţie monofazat:
a — schema de principiu; *b* — schema legării în circuit.

curse de curent şi curenţii induşi de aceste fluxuri în echipajul mobil. Constructiv se deosebesc dispozitive cu unul sau mai multe fluxuri.

a) Instrumentele cu inducţie cu cîmp de fugă sînt dispozitive cu trei fluxuri, fiind cele mai răspîndite. Principiul lor stă la baza contorului monofazat cu inducţie, utilizat la măsurarea energiei electrice în circuitele de curent alternativ.

Contorul monofazat este alcătuit din discul de aluminiu 1 (fig. 3.1.11. a) solidar cu axul a, care se roteşte în lagărele l şi avînd fixată pe el o roată dinţată r, acţionează prin intermediul şurubului fără sfîrşit d asupra dispozitivului de înregistrare D, care înregistrează numărul de rotaţii a discului. La trecerea curenţilor I_2 şi I_1 prin bobinele b_t şi b_i legate în paralel respectiv în serie cu circuitul, electromagneţii M_t şi M_i produc fluxurile Φ_t Φ_i şi Φ_i' care se închid prin discul de aluminiu şi prin miezurile M_t şi M_i.

În dreptul polilor p_1 şi p_1' ai bobinei de intensitate, fluxurile corespunzătoare Φ_i şi Φ_i' străbat discul în sensuri contrare şi se închid prin piesa de fier p_k fixată pe M_t. Rezultanta acestor trei fluxuri este un flux avînd valoarea maximă constantă, care efectuează o mişcare de translaţie, astfel că în decursul unei perioade fiecare pol p_1, p_2 şi p_1' capătă pe rînd polarităţile N—O—S—O—N—... Cîmpul astfel creat se numeşte cîmp de fugă, deoarece efectuează în spaţiu o deplasare continuă în dreptul celor trei poli, inducînd în discul de aluminiu curenţi turbionari. Interacţiunea cîmpului de fugă cu aceşti curenţi turbionari produce cuplul motor C_m care roteşte discul în sensul deplasării cîmpului de fugă şi este dat de relaţia

$$C_m = k \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = k \cdot P \qquad (3.1.20)$$

adică este proporţional cu puterea activă absorbită de receptorul din circuitul în care este montat contorul.

Cuplul rezistent C_r se obţine cu ajutorul magnetului permanent M_p (v. § 31) şi este de forma

$$C_r = k_\alpha \cdot v \qquad (3.1.21)$$

v fiind viteza de rotaţie a discului.

La echilibrul dinamic, viteza de rotaţie a discului este constantă şi cuplurile fiind egale rezultă

$$P = \frac{k}{k_\alpha} \cdot v = C \cdot v \qquad (3.1.22)$$

Energia se află integrînd în intervalul $t = t_2 - t_1$

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P \cdot \mathrm{d}t = \int_{t_1}^{t_2} C \cdot v \cdot \mathrm{d}t = C \cdot n \qquad (3.1.23)$$

adică este proporţională cu numărul de rotaţii n efectuate în acest timp, constanta C fiind *constanta contorului*. Notînd cu A raportul de transmisie adică numărul de rotaţii ale discului pentru un consum de 1 kWh. se poate scrie:

$$C = \frac{1}{A} \quad \left[\frac{\text{kWh}}{\text{rot}}\right] \qquad (3.1.24)$$

Valoarea raportului de transmisie A se înscrie pe scala contorului alături de celelalte valori nominale ce caracterizează funcţionarea sa. Schematic, conectarea contorului monofazat în circuit este indicată în figura 3.1.11. *b*, bornele 1 şi 3 reprezentînd începuturile bobinelor de curent şi tensiune, borna 2 sfîrşitul bobinei de curent iar bornele 4 şi 5 sfîrşitul bobinei de tensiune la care se leagă conductorul de întoarcere în interiorul aparatului.

b) Instrumentele cu inducţie cu cîmp învîrtitor sînt dispozitive cu patru fluxuri compuse din jugul de fier 1 (fig. 3.1.12. a) pe care sînt fixaţi polii

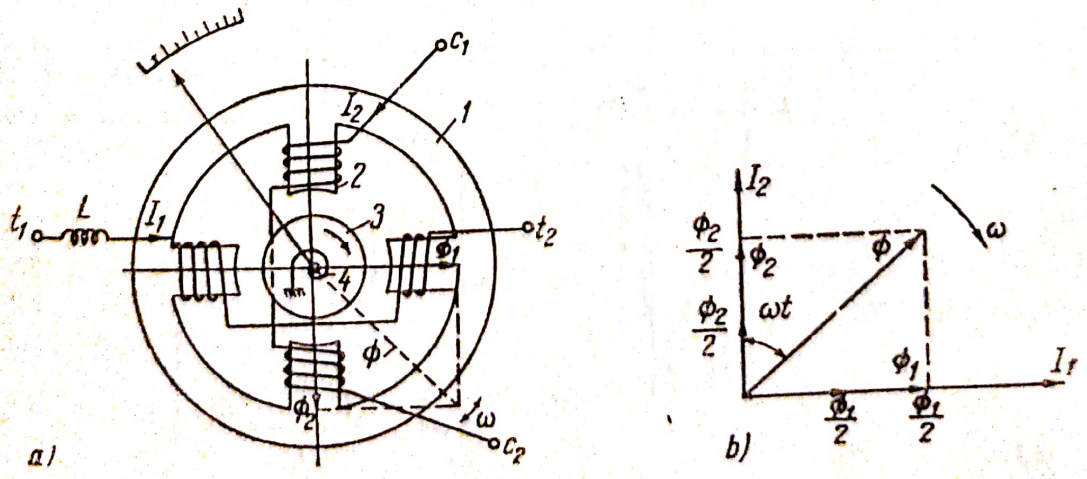


Fig. 3.1.12. Instrument cu inducţie cu cîmp învîrtitor:
a — schema principială; *b* — diagrama vectorială.

electromagnetici 2 cu bobinele c_1 şi c_2, t_1 şi t_2. Cilindrul de aluminiu 3 cu resoartele spirale 4 formează echipajul mobil al instrumentului. La trecerea curenţilor I_1 şi I_2 prin bobinele c_1c_2 şi t_1t_2, fiecare jumătate a bobinei c_1c_2 produce cîte un flux $\frac{\Phi_1}{2}$ care se vor aduna (fiind în fază) rezultînd fluxul Φ_1. În mod analog apare şi fluxul Φ_2, cele două fluxuri Φ_1 şi Φ_2 fiind defazate în spaţiu şi în timp (datorită inductanţei L) cu 90° (fig. 3.1.12. b). Rezultanta acestor două fluxuri este un cîmp magnetic învîrtitor Φ, egal cu amplitudinea maximă Φ_m a fluxurilor componente (v. 2.4.6):

$$\Phi = \sqrt{\Phi_1^2 + \Phi_2^2} = \sqrt{\Phi_m^2(\sin^2\omega t + \cos^2\omega t)} = \Phi_m \qquad (3.1.25)$$

care se roteşte cu viteza ω şi a cărui poziţie în spaţiu la momentul t este dată de

$$\operatorname{tg}\ \alpha = \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \operatorname{tg}\ \omega\ t \qquad (3.1.26)$$

Interacţiunea dintre cîmpul învîrtitor şi curenţii turbionari induşi de acesta în cilindrul de aluminiu produce un cuplu motor care roteşte cilindrul în sensul cîmpului pînă la echilibrarea cu cuplul rezistent. Se utilizează ca voltmetre (cu bobinele în serie), wattmetre (o bobină în serie şi una în paralel) şi în tehnica reglajului automat.

3.1.7. **Instrumente electrostatice.** Funcţionarea acestor instrumente se bazează pe interacţiunea între conductoarele încărcate. Ele constau din două sisteme de armături, una fixă şi alta mobilă, alcătuind un sistem de condensatori a cărui capacitate variază în urma modificării poziţiei relative a celor două sisteme de armături (sub tensiune constantă). Cuplul rezistent este creat pe cale mecanică, amortizarea fiind pneumatică sau electromagnetică.

După mişcarea echipajului mobil se deosebesc:

— *Instrumente cu deplasare liniară* (fig. 3.1.13. a), avînd armăturile 1 şi 2 fixe iar 3 mobilă, legată electric cu armătura 1. La aplicarea tensiunii la

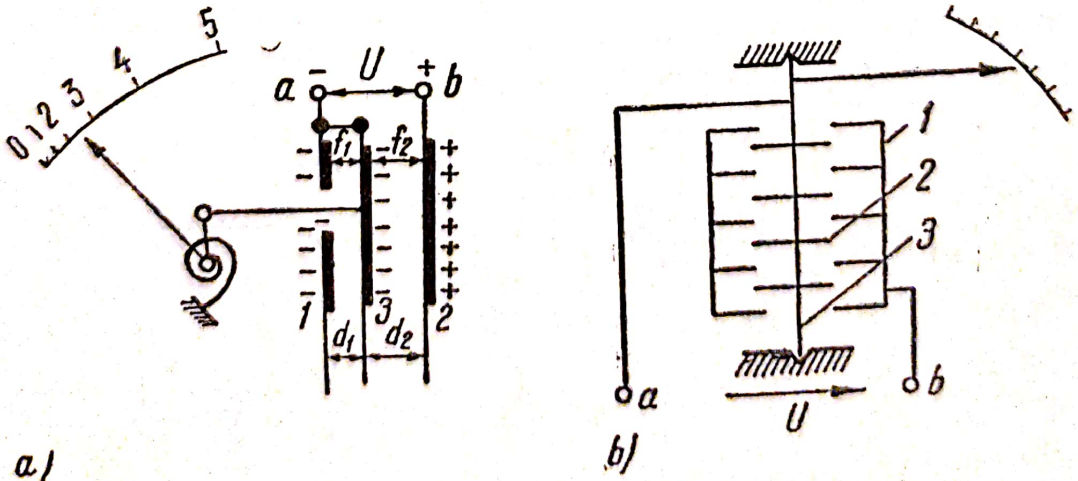


Fig. 3.1.13. Instrument electrostatic:
a — cu deplasare liniară; *b* — cu deplasare unghiulară.

borne, prin încărcarea armăturilor cu sarcini electrice, armătura 3 va fi deplasată spre dreapta, un sistem mecanic transformînd această deplasare liniară într-o mişcare de rotaţie a acului indicator.

— *Instrumente cu deplasare unghiulară* (fig. 3.1.13. *b*), compuse din sectoarele multicelulare fixe 1 şi plăcile de aluminiu 2 fixate pe axa 3 sau suspendate. Aplicînd tensiunea U, prin încărcare cu sarcini de semne contrare plăcile vor fi atrase în interiorul sectoarelor, acul indicator solidar cu axul indicînd această deviaţie α.

În ambele cazuri cuplul motor se obţine cu teorema forţelor generalizate

$$C_m = \frac{1}{2} U^2 \cdot \frac{dC}{d\alpha} \qquad (3.1.27)$$

ştiind că $W_e = \frac{1}{2} C \cdot U^2$, unde C este capacitatea sistemului. Dacă $C_r = k_r \cdot \alpha$, şi la echilibru $C_m = C_r$, deviaţia este

$$\alpha = \frac{1}{2k_r} \cdot U^2 \frac{dC}{d\alpha} \qquad (3.1.28)$$

proporţională cu pătratul tensiunii.

Se utilizează direct pentru măsurarea tensiunilor pînă la 15 kV, iar cu dielectrici speciali pînă la 1000 kV. Au avantajul unui consum propriu extrem de redus (practic nul în curent continuu) şi nu sînt influenţate de cîmpuri magnetice exterioare şi de temperatură. Au însă sensibilitate mică.

3.1.8. **Instrumente electronice.** Instrumentele electronice sînt constituite dintr-un element electronic avînd funcţia de redresor, amplificator, oscilator (v. § 2.3.3) sau în general de traductor şi un dispozitiv de măsură, de obicei magnetoelectric. Sînt utilizate în toate domeniile măsurătorilor tehnice, datorită calităţilor lor: sensibilitate, consum redus, inerţie mică, posibilitatea înregistrării etc. În continuare se tratează rezumativ două dintre cele mai uzuale instrumente electronice: voltmetrul electronic şi osciloscopul catodic.

a) Voltmetrul electronic. Principiul de funcţionare este măsurarea diferenţelor de potenţial, t.e.m. şi a curentului continuu şi alternativ, redresate cu tuburi electronice, cu ajutorul dispozitivelor de măsură magnetoelectrice.

Montajul cu diodă (fig. 3.1.14. a) este compus din dioda D şi dispozitivul magnetoelectric ME, la bornele $a - b$ aplicîndu-se tensiunea de măsurat U. Tubul conduce numai în semiperioada pozitivă (v. § 2.3.3), se redresează o alternanţă, deci instrumentul ME va indica numai cînd anodul este pozitiv. Deviaţia este proporţională cu $\frac{1}{2} I_{mediu}$. Dezavantajele montajului sînt: dependenţa indicaţiilor de forma curbei tensiunii de măsurat şi sensibilitate mică.

Montajul cu triodă cu redresare anodică (fig. 3.1. 14. b) înlătură aproape complet dezavantajele montajului cu diodă. Tensiunea de măsurat se aplică grilei de comandă, iar punctul de funcţionare al triodei se alege

Scanned with OKEN Scanner

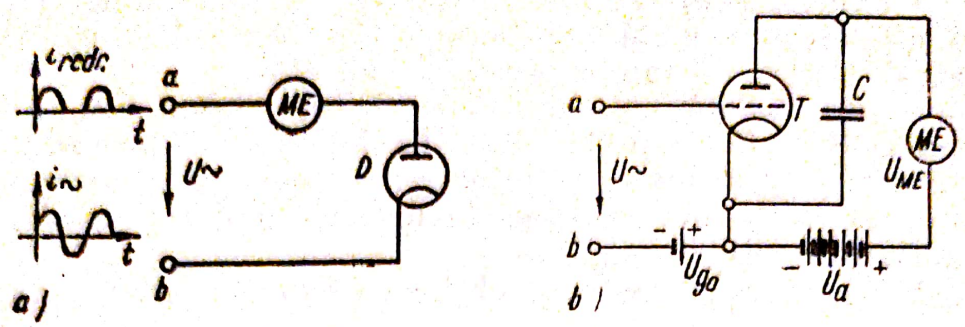


Fig. 3.1.14. Voltmetru electronic:
a — cu diodă; *b* — cu triodă, cu redresare anodică.

în cotul inferior al caracteristicii, rezultînd o creştere a curentului anodic în semiperioada pozitivă a tensiunii U. Deviaţia este proporţională cu I_{mediu}, scala putînd fi gradată în valori efective cu condiţia ca forma curbei tensiunii de măsurat să nu se modifice. Condensatorul C micşorează eroarea provocată de modificarea frecvenţei. Dezavantajul principal este existenţa unui curent iniţial prin instrument, chiar în lipsa tensiunii de măsurat, ceeace impune o schemă de compensare.

Caracteristicile principale ale voltmetrelor electronice (de diferite tipuri), sînt: domeniul larg de măsură (10^{-6} — 10^{2} V); domeniul larg de frecvenţă; rezistenţa de intrare mare; sensibilitate ridicată; consum foarte redus; precizia relativ mică, situîndu-se în clasele 1,5 — 2,5; dependenţa indicaţiilor de forma curbei de măsurat etc.

În momentul actual cunosc o foarte mare utilizare voltmetrele electronice care indică valori de vîrf, a căror deviaţie este proporţională cu tensiunea de vîrf a alternanţei pozitive a curentului alternativ.

b) Osciloscopul catodic. Se utilizează la studiul proceselor cu variaţie foarte rapidă în timp şi permite obţinerea pe un ecran a curbei reprezentative a unui fenomen fizic.

Elementul principal al osciloscopului este tubul catodic (fig. 3.1.15). alcătuit din următoarele părţi principale: catodul, încălzit indirect, aflat

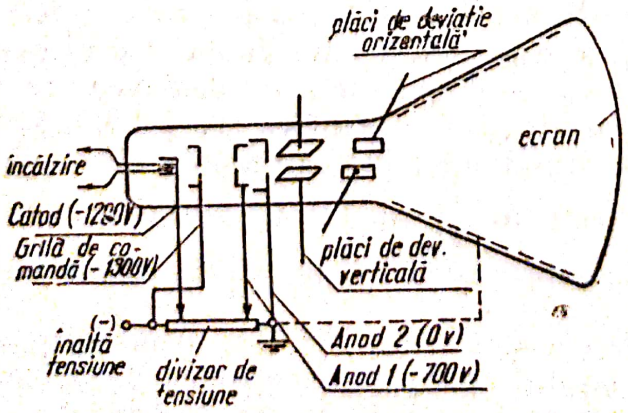


Fig. 3.1.15. Tubul catodic.

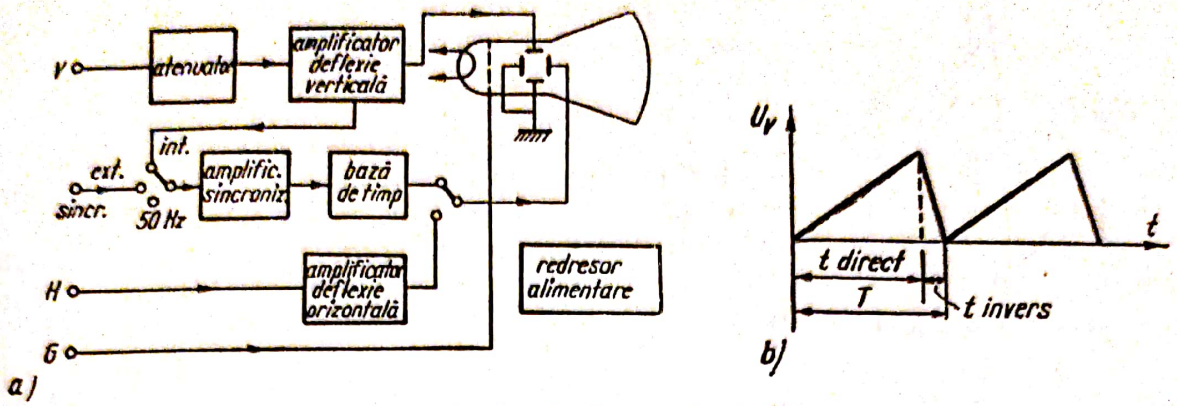


Fig. 3.1.16. Osciloscopul catodic:
a — schema bloc; *b* — tensiune în dinți de fierăstrău.

la un potențial de —1000 V la —200 V în raport cu anodul accelerator; grila de comandă, negativată reglabil față de catod, comandă intensitatea fascicolului electronic, deci luminozitatea spotului; sistemul de focalizare compus din anodul 1, de focalizare și anodul 2, accelerator; ecranul, acoperit cu substanțe ce devin luminiscente sub acțiunea electronilor ($CaWO_2$-verde, ortosilicat de zinc-albastru etc). Pentru captarea electronilor secundari emiși de ecran, partea evazată a tubului se metalizează în interior și se leagă la potențialul anodului 2; sistemul de deviație, compus din două perechi de plăci: de deviație verticală și orizontală (fig. 3.1.15). Schema bloc a osciloscopului catodic este dată în figura 3.1.16. *a*

Aplicînd pe ambele perechi de plăci cîte o tensiune sinusoidală U_H și U_V, fascicolul electronic va descrie pe ecran curbe complicate, care depind de amplitudinile, frecvențele și defazarea tensiunilor U_H și U_V, curbe denumite „Figurile lui Lissajoux" pe baza cărora se poate construi grafic curba tensiunii studiate. Procedeul este însă greoi.

Pentru obținerea curbei $y = f(t)$ a unui fenomen, direct în coordonate rectangulare pe ecran, se utilizează o desfășurare liniară în timp. Se aplică tensiunea de studiat U_V pe plăcile de deviație verticală iar pe plăcile de deviație orizontală o tensiune U_H în „dinți de fierestrău" (figura 3.1.16. *b*) de perioadă reglabilă. Rolul acesteia este de a obține o deplasare uniformă a spotului de la stînga la dreapta (în timpul t_{dir}) și revenirea lui în timp foarte scurt ($t_{inv} \ll t_{dir}$) la poziția inițială, de unde procesul reîncepe ca mai înainte, rezultînd pe ecran o linie orizontală. Dacă se reglează frecvența tensiunii în dinți de fierestrău, numită și tensiune de baleiaj, astfel ca să fie egală cu frecvența tensiunii de studiat sau cu un submultiplu de-al ei, se va obține pe ecran o figură stabilă a unei sau mai multor perioade a tensiunii studiate. Etajul de sincronizare (interior sau exterior aparatului — vezi figura 3.1.16 *a*) servește menținerii constante a raportului frecvențelor pentru ca imaginea să fie stabilă.

Avantajele esențiale ale osciloscopului sînt: lipsa de inerție, consum foarte redus, posibilitatea studierii proceselor cu frecvențe foarte mari etc.

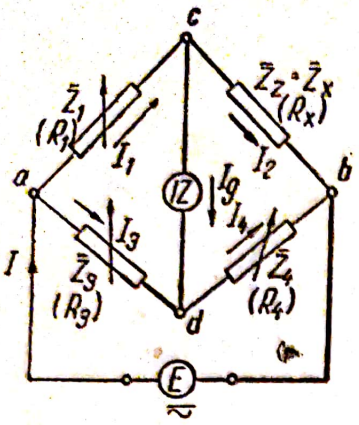


Fig. 3.1.17. Schema montajului punţii Wheatstone.

3.1.9. Instrumente de comparaţie[1]. Se vor prezenta cele mai des utilizate instrumente de comparaţie.

a) Puntea Wheatstone. Este constituită, în cazul general, din patru impedanţe Z_1, Z_2, Z_3 şi Z_4 (fig. 3.1.17) care formează un patrulater închis, avînd pe o diagonală sursa de t.e.m. E, iar pe cealaltă instrumentul de zero IZ (galvanometru, în curent continuu). Punînd condiţia de echilibru montajului din fig. 3.1.17 şi anume, curentul prin diagonala $c-d$ să fie nul

$$I_g = 0 \tag{3.1.29}$$

rezultă

$$\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_4 = \bar{Z}_2 \cdot \bar{Z}_3 \tag{3.1.30}$$

care se descompune în relaţiile

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3 \tag{3.1.31}$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \tag{3.1.32}$$

între module şi argumente. Pe baza acestor relaţii, cunoscînd trei dintre impedanţe se poate afla a patra.

În curent continuu, puntea se utilizează la măsurarea rezistenţelor, relaţia 3.1.30 scriindu-se

$$R_4 = R_4 \frac{R_1}{R_3} \tag{3.1.33}$$

adică se poate determina $R_2 = R_x$, cunoscînd pe R_4 — rezistenţă etalon — şi fixînd raportul R_1/R_3. Dacă alegem acest raport unitar, atunci la echilibru (deviaţia galvanometrului nulă) rezistenţa necunoscută R_x va avea valoarea rezistenţei etalon de echilibrare.

În curent alternativ puntea se utilizează la măsurarea rezistenţelor, capacităţilor şi inductanţelor, utilizînd ca instrument de zero un telefon, galvanometru cu vibraţii, etc. Diversitatea tipurilor de punţi de curent alternativ este determinată de natura şi modul de aşezare a impedanţelor în braţele punţii, condiţionate fiind însă de verificarea relaţiei 3.1.32 (v. 3.2.5).

b) Compensatorul de curent continuu. Se bazează pe schimbarea reciprocă (compensarea) a tensiunii de măsurat cu o cădere de tensiune cunoscută. Schema principială este indicată în fig. 3.1.18. Tensiunea necunoscută se leagă la bornele $\pm E_x$. Se închide întrerupătorul K_2 pe poziţia 1 şi se re-

[1] Se consideră aparate de măsură şi aparatele (instrumentele) comparatoare: punţi, compensatoare, care compară valoarea mărimii de măsurat cu valoarea etaloanelor standardizate, prin utilizarea metodelor de nul (vezi şi STAS 2933—60)

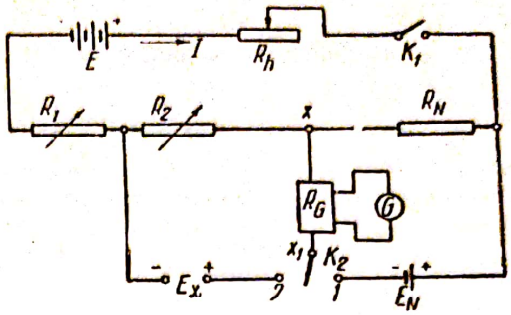


Fig. 3.1.18. Schema de principiu a compensatorului de curent continuu.

glează curentul I cu reostatul R_h pînă ce galvanometrul G indică lipsa curentului în ramura xx', adică t.e.m. a pilei etalon E_N va fi egală cu căderea de tensiune pe rezistenţa etalon R_N

$$E_N = I \cdot R_N \tag{3.1.34}$$

Trecînd pe K_2 în poziţia 2, se reglează R_1 şi R_2, menţinînd suma lor constantă, deci curentul I acelaşi, pînă ce galvanometrul indică din nou absenţa curentului în ramura xx'. Notînd cu R_{2x} valoarea rezistenţei R_2 pentru care se obţine echilibrarea, tensiunea necunoscută E_x va fi

$$E_x = I \cdot R_{2x} \tag{3.1.35}$$

Din relaţiile (3.1.34—35), rezultă

$$E_x = E_N \cdot \frac{R_{2x}}{R_N} \tag{3.1.36}$$

T.e.m. etalon E_N este furnizată de un element normal Weston, avînd valoarea de 1,01865 V la temperatura de 20 °C.

Compensatorul se utilizează la măsurători de tensiuni, curenţi şi rezistenţe şi datorită preciziei extrem de ridicate, ajungînd pînă la + 0,02%, la etalonarea şi verificarea instrumentelor etalon.

În curent alternativ, se utilizează compensatori în coordonate polare sau în coordonate rectangulare, cu precizia pînă la ± 0,2%.

3.2. MĂSURĂTORI ÎN CIRCUITELE DE UTILIZARE A ENERGIEI ELECTRICE

3.2.1. **Măsurarea tensiunii.** Măsurarea tensiunii prin citire directă se face cu ajutorul unui voltmetru, conectat în paralel în circuit (în curent continuu cu respectarea polarităţii), pentru a fi parcurs de un curent proporţional cu tensiunea aplicată la bornele circuitului (fig. 3.2.1.*a*). Consumul propriu $P_v = \frac{U^2}{R_v}$ este cu atît mai mic cu cît rezistenţa interioară R_v a voltmetrului este mai mare. Tipurile uzuale de voltmetre, modul de extindere a limitelor de măsurare şi utilizările lor sînt indicate în tabela 3.2.1.

Tabela 3.2.1

Tipurile uzuale de voltmetre, domeniile lor de utilizare şi extinderea limitei de măsurare

Nr. crt.	Tipul voltmetrului	Domeniile de utilizare	Extinderea limitei de măsurare	Observaţii
1.	Magnetoelectric	Măsurători de precizie şi uzuale în curent continuu, pînă la 1000 V.	Rezistenţe adiţionale	
2.	Magnetoelectric cu redresor	Măsurători uzuale, tensiuni alternative mici, pînă la 10^4 Hz.	Rezistenţe adiţionale	Combinat cu şunt universal se obţin voltampermetre multiple*
3.	Magnetoelectric cu termocuplu	Idem, şi în înaltă frecvenţă, pînă la 10 Hz.	Rezistenţe adiţionale	
4.	Electromagnetic	Măsurători uzuale, curent continuu şi alternativ, la frecvenţe industriale	Rezistenţe adiţionale pînă la 750 V; transformator de tensiune	
5.	Electrodinamic	Măsurători de precizie, curent continuu şi alternativ, la frecvenţe industriale (rar pînă la 2500 Hz.)	Rezistenţe adiţionale pînă la 750 V; transformator de tensiune	Consumare
6.	Cu inducţie	Măsurători uzuale în curent alternativ, la frecvenţa reţelei	Rezistenţe adiţionale; transformator de tensiune	Utilizare restrinsă
7.	Electrostatice	Măsurători de precizie şi uzuale, curent continuu şi alternativ de joasă frecvenţă. Limite: 15 kV (de tablou), 150—180 kV cu dielectrici speciali	Curent continuu: potenţiometre; Curent alternativ: condensatori suplimentari; divizori capacitivi de tensiune	Se pot măsura tensiuni pînă la 10^6V.
8.	Termic	Măsurători uzuale în înaltă frecvenţă şi regim nesinusoidal	Rezistenţe adiţionale	Utilizat rar
9.	Electronic	Măsurători uzuale în curent continuu şi alternativ de joasă şi înaltă frecvenţă		Se realizează ca instrumente universale cu o gamă largă de măsurare

* Instrumentul magnetoelectric cu redresor, cu rezistenţe adiţionale şi şunt universal se poate utiliza pentru măsurători de tensiuni şi curenţi, continui şi alternative într-o gamă largă, numindu-se în general instrumente universale.

Scanned with OKEN Scanner

Calculul rezistenței adiționale R_a, înseriată cu voltmetrul se face astfel: căderile de tensiune pe voltmetru și pe R_a sînt

$$U_v = I_v \cdot R_v \quad U_a = I_v \cdot R_v \qquad (3.2.1)$$

de unde rezultă valoarea rezistenței R_a:

$$R_a = \frac{U_a}{U_v} \cdot R_v \qquad (3.2.2)$$

Urmărind ca tensiunea măsurată U să fie de n ori mai mare decît căderea de tensiune pe voltmetru U_v, adică $U = n \cdot U_v$, din aplicarea teoremei a II-a a lui Kirchhoff circuitului din fig. 3.2.1.a rezultă

$$U_a + U_v = U$$

adică

$$U_a = U - U_v = U_v (n - 1) \qquad (3.2.3)$$

care înlocuită în 3.2.2 ne dă valoarea rezistenței adiționale

$$R_a = R_v(n - 1) \qquad (3.2.4)$$

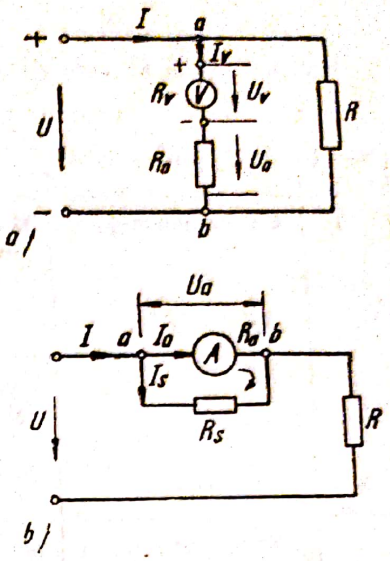


Fig. 3.2.1. Măsurarea directă a tensiunii (*a*) și a intensității curentului electric (*b*).

3.2.2. **Măsurarea intensității curentului.** Măsurarea directă a curentului se face cu un ampermetru legat în serie în circuit (cu respectarea polarității în c.c.), pentru a fi parcurs de curentul din circuit (fig. 3.2.1.b). Pentru a nu perturba regimul de funcționare al circuitului, consumul său propriu $P_a = I^2 \cdot R_a$, căderea de tensiune interioară $U_a = I \cdot R_a$, deci rezistența sa interioară R_a trebuie să fie cît se poate de mici. Tipurile uzuale de ampermetre și modul de extindere al domeniului de măsură sînt indicate în tabela 3.2.2.

Legînd rezistența de șunt R_s în paralel cu ampermetrul se poate scrie conform teoremei a *II*-a a lui Kirchhoff:

$$I_a \cdot R_a = I_s \cdot R_s = U_a \text{ deci} \qquad (3.2.5)$$

$$R_s = \frac{I_a}{I_s} \cdot R_a \qquad (3.2.6)$$

Dacă curentul în circuit I măsurat la derivația maximă a ampermetrului, este de n ori mai mare decît curentul suportat de ampermetru I_a, adică $I = n \cdot I_a$, rezultă că prin șunt va trece un curent

$$I_s = I - I_a = I_a(n - 1) \qquad (3.2.7)$$

Tabela 3.2.2

Tipurile uzuale de ampermetre, extinderea limitei de măsurare şi domeniile de utilizare

Nr. crt.	Tipul ampermetrului	Domeniile de utilizate	Extinderea limitei de măsurare	Observaţii
1	Magnetoelectric	Măsurători de precizie în curent continuu cu galvanometre, până la 10^{-12} A.	Limitarea curentului prin galvanometru se face cu rezistenţe de protecţie	Se utilizează de obicei ca instrumente de zero
		Măsurători de precizie şi uzuale pentru curenti I $10^{3-} < I < 10^{4}$ A.	Cu şunturi	Realizarea ampermetrelor cu mai multe domenii se face cu şunt universal*)
2	Magnetoelectric cu redresor	Măsurători uzuale, curenţi alternativi mici, pînă la 10^{4} Hz.	Cu şunturi	
3	Magnetoelectric cu termocuplu	Idem, şi în înaltă frecvenţă, pînă la 10^{7} Hz.	Cu şunturi	
4	Electromagnetic	Măsurători uzuale, curent continuu şi alternativ, utilizat direct pînă la 150—300 A.	Secţionarea bobinei; Transformator de curent (pentru $I >$ 100 A)	
5	Electrodinamic	Măsurători de precizie, curent continuu şi alternativ de frecvenţe industriale (rar pînă la 2500 Hz)	Secţionarea bobinei fixe; Trasformator de curent	Schemele ampermetrelor depind de valoarea curentului de măsurat
6	Termic	Măsurători uzuale, în regim nesinusoidal. Direct pentru I<1A.	Cu şunturi; Transformator de curent	Consum propriu mare

* Suntul universal este constituit din mai multe rezistenţe legate în serie care se pot conecta sau deconecta cu un comutator, dînd posibilitatea modificării domeniului de măsură.

Înlocuind în relaţia 3.2.6 obţinem pentru rezistenţa şuntului

$$R_s = \frac{R_a}{n-1} \tag{3.2.8}$$

3.2.3. Măsurarea rezistenţelor în curent continuu. *a) Metoda industrială voltampermetrică,* constă în măsurarea curentului din circuitul rezistenţei,

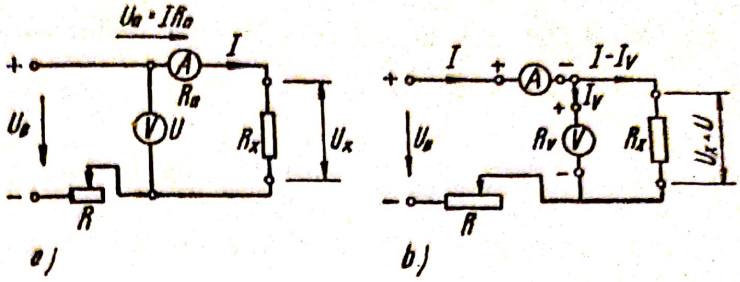


Fig. 3.2.2. Metoda industrială voltampermetrică:
a — montaj amonte; *b* — montaj aval.

I, cu un ampermetru şi a căderii de tensiune pe rezistenţă U cu un voltmetru, valoarea rezistenţei fiind dată de

$$R_x = \frac{U}{I}\ [\Omega] \tag{3.2.9}$$

După ordinea legării instrumentelor se deosebesc: montajul amonte (fig. 3.2.2.a) cu voltmetrul înaintea ampermetrului şi montajul aval (fig.3.2.2.b-cu voltmetrul după ampermetru. Ţinînd cont de valorile rezistenţelor interne R_a şi R_v, valoarea rezistenţei necunoscute este

amonte: $$R_v = \frac{U - I \cdot Ra}{I} = \frac{U}{I} - R_a \tag{3.2.10}$$

aval: $$R_x = \frac{U}{I - Iv} = \frac{U}{I - U/R_v} \tag{3.2.11}$$

Cînd nu se cunosc valorile rezistenţelor R_a şi R_v, rezistenţa se calculează cu relaţia 3.2.9 utilizînd pentru măsurarea rezistenţelor mari montajul amonte (deoarece $R_x \gg R_a$) iar pentru cele mici montajul aval (deoarece $R_x \ll R_v$).

b) *Măsurarea cu ohmmetrul* permite determinarea directă a valorii rezistenţei. Ohmmetrul se obţine introducînd un instrument în circuitul rezistenţei, care va măsura curentul din circuit, funcţie de valoarea rezistenţei. El se leagă în circuitul rezistenţei în *serie* (fig. 3.2.3.a) sau *în paralel* (fig. 3.2.3.b).

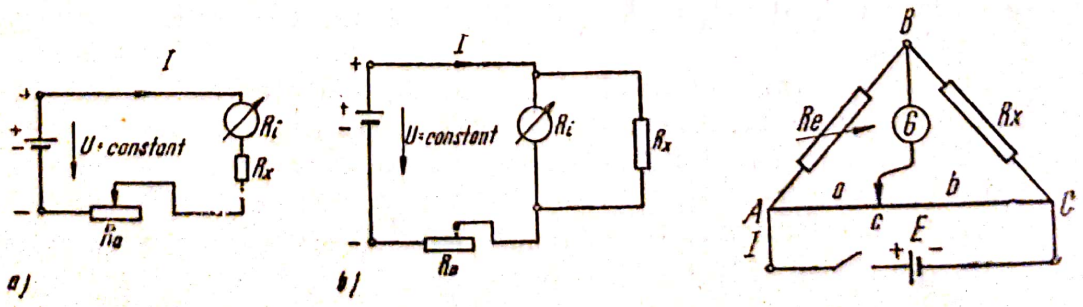


Fig. 3.2.3. Schema ohmmetrului:
a — în serie; *b* — în paralel; *c* — în punte.

La ohmmetrul în serie expresia curentului este

$$I = \frac{U}{R_x + R_i} \tag{3.2.12}$$

rezultînd că eroarea este minimă cînd $R_x \gg R_i$, deci se va utiliza la măsurarea rezistenţelor mari, sau la stabilirea întreruperii circuitelor ($R \simeq \infty$), cînd inducţia lui este zero. Scala, gradată în unităţi de rezistenţă (kΩ, MΩ) este neuniformă.

La ohmmetrul în paralel expresia curentului este

$$I = \frac{U}{R_a + \dfrac{R_i \cdot R_x}{R_i + R_x}} \tag{3.2.13}$$

deci se va utiliza la măsurarea rezistenţelor mici. Indicaţia zero corespunde la $R_x = 0$ şi se reglează cu ajutorul lui R_a în absenţa rezistenţei necunoscute R_x (fig. 3.2.3.b) înainte de măsurători.

c) *Metodele în punte* (v.3.1.9) se utilizează pentru măsurători precise, au domeniul larg de măsură şi indicaţia independentă de tensiunea aplicată circuitului. Pe baza schemei din fig. 3.1.17 se realizează:

— ohmmetre în punte, construite după schema din difg. 3.2.3. c, avînd braţele R_3 şi R_4 realizate sub forma unui fir calibrat pe care glisează un cursor C, astfel că la echilibru se obţine: $R_x = R_e \cdot \frac{a}{b}$

— montaje ale punţii Wheatstone din piese separate

— punţi Wheatstone gata montate, la care se conectează doar rezistenţa de măsurat R_x şi sursa de t.e.m.E.

Pentru măsurarea rezistenţelor foarte mici (sub 1 ohm) se utilizează montajul punţii duble, Thomson.

3.2.4. **Măsurarea puterii şi energiei în curent continuu.** *Măsurarea puterii* se face prin două metode:

— Metoda voltampermetrică, utilizată conform celor expuse la punctul 3.2.3: montaj amonte pentru rezistenţe mari, montaj aval pentru rezistenţe mici, valoarea puterii fiind:

$$P = U \cdot I \tag{3.2.14}$$

Dacă se cunosc valorile R_a şi R_v (fig. 3.2.2) se fac corecţiile în funcţie de montajul utilizat.

— Măsurarea cu wattmetrul electrodinamic, conectat cu bobina de tensiune în montaj amonte, pentru rezistenţe mari (fig. 3.2.4.a) şi în aval pentru rezistenţe mici (fig.3.2.4.b). Pentru ca deviaţia să fie corectă, legarea wattmetrului se face respectînd sensul de parcurgere al curenţilor în bobine: de la intrare (bornele a, c notate cu*), spre ieşire (bornele b şi d). Constanta wattmetrului se calculează cu relaţia

$$C = \frac{U_n \cdot I_n}{N} \left[\frac{\text{watt}}{\text{diviziune}}\right] \tag{3.2.15}$$

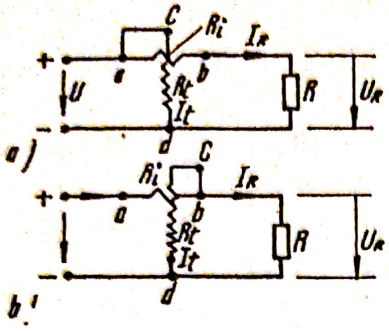


Fig. 3.2.4. Măsurarea puterii cu wattmetrul:
a — montaj amonte; *b* — montaj aval.

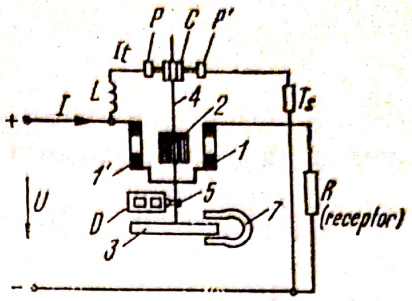


Fig. 3.2.5. Contor electrodinamic.

U_n și I_n fiind valorile nominale ale tensiunii și curentului, iar N numărul de diviziuni al scalei.

b) *Măsurarea energiei* se efectuează cu contorul electrodinamic (fig. 3.2.5) compus din bobina de curent 11′ în al cărei cîmp magnetic se află indusul 2 fixat pe axa 4, care prin intermediul roții 5 acționează dispozitivul de înregistrare D. Cuplul rezistent este produs de discul de aluminiu 3 și magnetul permanent 7. Circuitul de tensiune se leagă în paralel cu receptorul R și este compus din bobina de compensare L, rezistența suplimentară r_s, periile $p - p'$ și colectorul c care permit trecerea curentului I_t prin înfășurarea de tensiune de pe rotorul 2.

La trecerea curentului prin aparat ia naștere un cuplu motor care rotește echipajul mobil 2. La echilibrul dinamic energia W consumată de receptor este:

$$W = n \cdot C \quad [\text{kWh}] \tag{3.2.16}$$

unde n este numărul de rotații a indusului iar $C\left[\frac{\text{kWh}}{\text{rotație}}\right]$ este *constanta contorului.*

3.2.5. Măsurarea parametrilor și mărimilor circuitului de curent alternativ monofazat. Măsurînd tensiunea U, curentul I, puterea activă P și frecvența f cu ajutorul montajului din fig. 3.2.6, se pot determina următoarele mărimi:

— Rezistența ohmică a receptorului:

$$R = \frac{P}{I^2} \quad [\Omega] \tag{3.2.17}$$

— Impedanța receptorului:

$$Z = \frac{U}{I} \quad [\Omega] \tag{3.2.18}$$

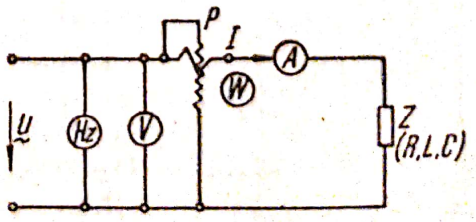


Fig. 3.2.6. Măsurători în circuitul de curent alternativ monofazat.

— Reactanţa inductivă şi inductanţa:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}\ [\Omega]; \quad L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad [H] \tag{3.2.19}$$

— Reactanţa capacitivă şi capacitatea, neglijînd pierderile prin conducţie în dielectricul condensatorului

$$X_C = Z = \frac{U}{I} \quad [\Omega]; \quad C = \frac{1}{\omega X_c} = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad [F] \tag{3.2.20}$$

— Puterea activă:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad [W] \tag{3.2.21}$$

— Puterea aparentă:

$$S = U \cdot I \quad [VA] \tag{3.2.22}$$

— Factorul de putere:

$$\cos\ \varphi = \frac{P}{S} \tag{3.2.23}$$

de unde se poate determina sin φ şi apoi puterea reactivă Q

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad [VAr] \tag{3.2.24}$$

Pentru măsurarea puterii în circuitele de curent alternativ cu receptori pur rezistivi se poate utiliza metoda voltampermetrică deoarece factorul de putere este unitar, în circuit consumîndu-se numai puterea activă ($P = U \cdot I \cdot \cos 0° = U \cdot I$).

Inductanţele se măsoară prin metode în punte: metoda punţii Grüneisen-Gebe, puntea Shering, puntea Maxwell-Wien, puntea Anderson, etc. Cea mai reprezentativă este puntea Maxwell-Wien (fig.3.2.7) căreia aplicîndu-i condiţiile de echilibru (3.1.31—32), se obţine:

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_e} \text{ şi } \quad L_x = R_2 \cdot R_3 \cdot C_e \tag{3.2.25}$$

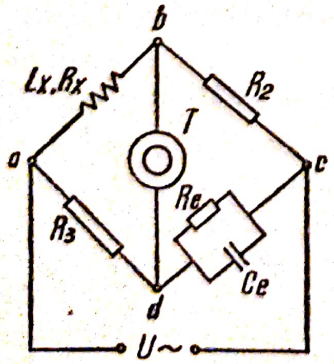


Fig. 3.2.7. Puntea Maxwell — Wien pentru măsurarea inductanţelor.

Inductanţele mutuale se determină fie prin metoda voltampermetrică fie cu ajutorul punţilor speciale (ex.puntea Carey-Foster).

Capacităţile se măsoară fie direct cu ajutorul faradmetrelor (logometre electromagnetice sau electrodinamice), fie prin metode în punte (puntea Schering, Sauty-pentru condensatori cu pierderi mici, Wien pentru condensatori cu pierderi mari, etc.). În figura 3.2.8 este dată schema de principiu a faradmetrului electrodinamic.

Scanned with OKEN Scanner

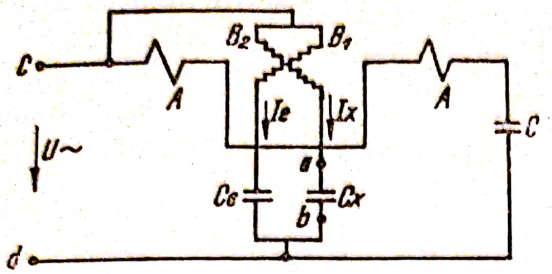


Fig. 3.2.8. Schema faradmentului electrodinamic.

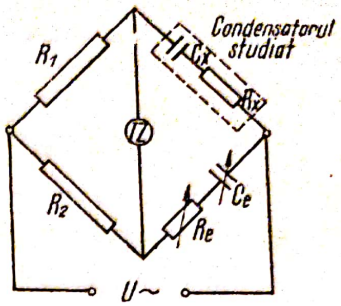


Fig. 3.2.9. Schema punţii de curent alternativ tip Sauty.

Deviaţia α fiind proporţională cu raportul curenţilor (v.3.1.5) şi neglijînd rezistenţele bobinelor faţă de reactanţe, se poate scrie

$$\frac{I_e}{I_x} = \frac{U \cdot \omega \cdot C_e}{U \cdot \omega \cdot C_x} = F(\alpha) \qquad (3.2.26)$$

sau

$$\alpha = F(C_x) \qquad (3.2.27)$$

scala gradîndu-se direct în unităţi de capacitate.

Unul dintre cele mai uzuale montaje pentru măsurarea condensatorilor este puntea Sauty (fig. 3.2.9). Punînd condiţiile de echilibru (3.1.31—32) acestui montaj se obţine

$$R_x = R_e \frac{R_1}{R_2}\,;\; C_x = C_e \frac{R_2}{R_1}\,;\; \operatorname{tg}\delta = R_x C_x \omega = R_e C_e \omega \qquad (3.2.28)$$

Puntea serveşte la măsurarea capacităţii şi unghiului de pierderi dielectrice în condensatori, cabluri, materiale izolante, etc.

3.2.6. **Măsurarea puterii active în circuitele de curent alternativ trifazate.** 3.2.6.1. *Metoda de măsurare cu un wattmetru.* Se utilizează în circuitele trifazate simetrice, în următoarele cazuri:

a) Circuit trifazat cu receptorul în stea, cu neutrul accesibil. Măsurarea se face cu un wattmetru avînd bobina de intensitate legată în serie pe o fază, iar bobina de tensiune în paralel, între faza respectivă şipunctul neutru (tab. 3.2.3 — I.1). Wattmetrul măsoară puterea pe o fază, puterea totală a sistemului trifazat fiind

$$P = 3P_f = 3U_f I_f \cos\varphi \qquad [W] \qquad (3.2.29)$$

b) Circuit trifazat cu receptorul în stea cu neutrul inaccesibil. Se realizează un punct neutru artificial O' cu ajutorul rezistenţelor R_1 R_2 şi R_3 (tab. 3.2.3—I.2). Puterile de fază fiind egale, puterea totală este de trei ori puterea pe fază (conform relaţiei 3.2.29). Între rezistenţele R_1, R_2, R_3 şi R_t — rezistenţa bobinei de tensiune a wattmetrului, există relaţia:

$$R_1 + R_t = R_2 = R_3$$

Tabela 3.2.3

Metode de măsurare a puterii şi energiei în circuitele de curent alternativ trifazat

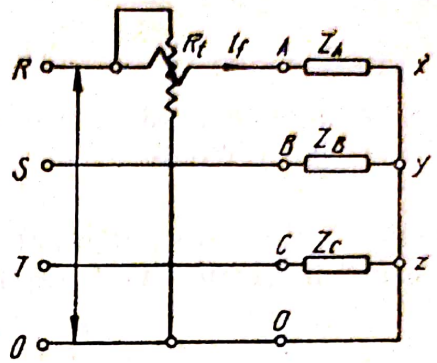
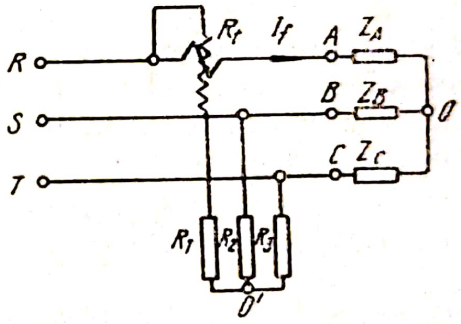
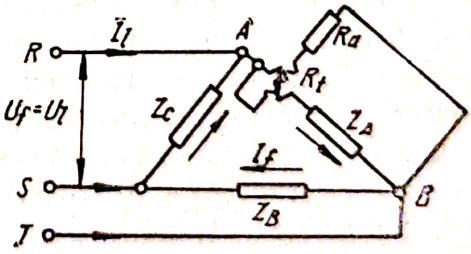
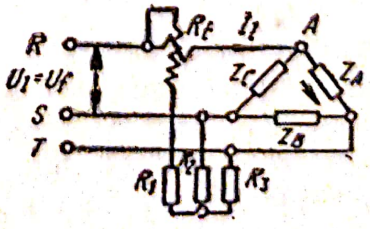
Nr. crt.	Metoda de măsurare	Circuitul de măsurare (sistemul)	Nr. ord.	Schema principială şi diagrama vectorială
0	1	2	3	4
I	Măsurarea puterii active cu un wattmetru	Circuit trifazat cu receptorul în stea, simetric, cu neutrul accesibil	1	
		Circuit trifazat cu receptorul în stea, simetric, cu neutrul inaccesibil	2	
		Circuit trifazat cu receptorul legat în triunghi, simetric	3	
		Circuit trifazat cu receptorul legat în triunghi, cu punct neutru artificial	4	

Tabela 3.2.3 (continuare)

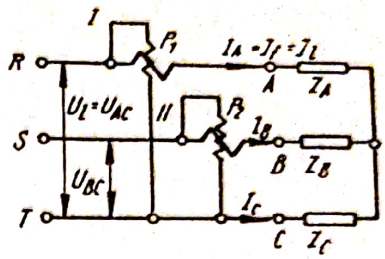
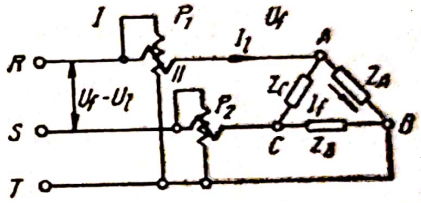
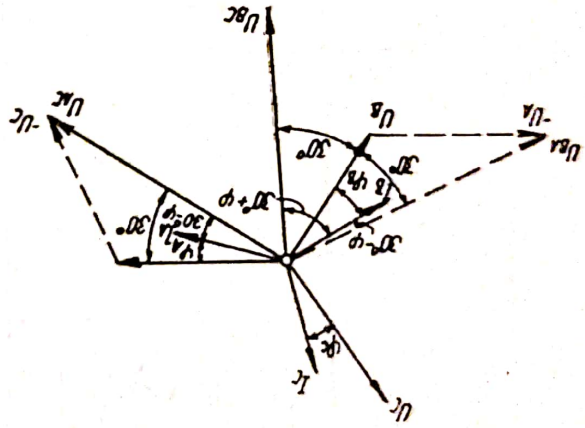
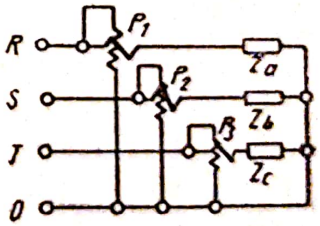
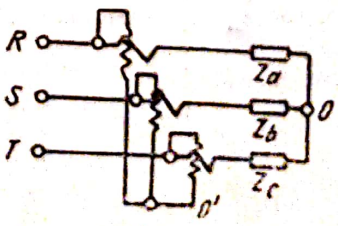
0	1	2	3	4
II	Măsurarea puterii active cu două watt-metre	Circuite trifazice cu trei conductoare în stea, simetrice, sau nesimetrice	5	
		Circuite trifazice în triunghi, simetrice sau nesimetrice	6	
		Diagrama vectorială pentru cazul II 5	7	
III	Măsurarea puterii active cu trei wattmetre	Circuite trifazice în stea, simetrice sau nesimetrice cu neutrul accesibil	8	
		Circuite trifazice în stea, simetrice sau nesimetrice cu neutrul inaccesibil	9	

Tabela 3.2.3 (continuare)

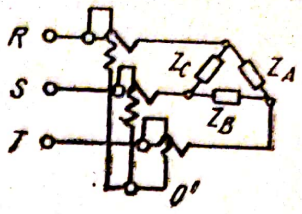
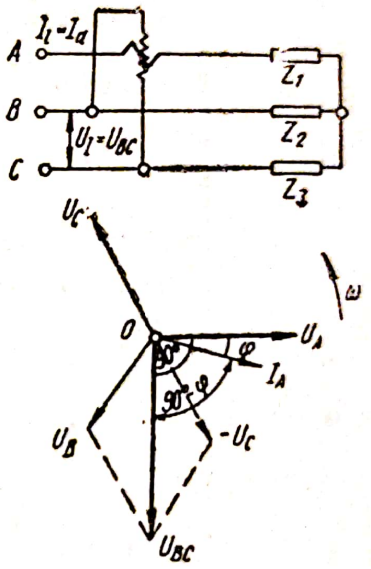
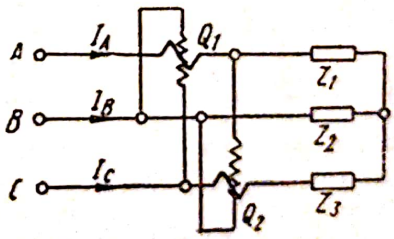
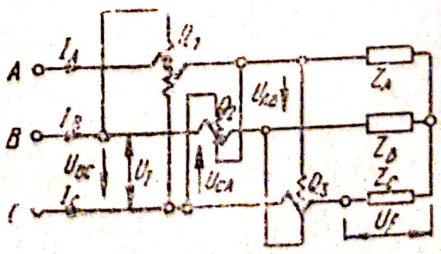
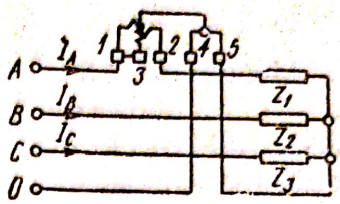
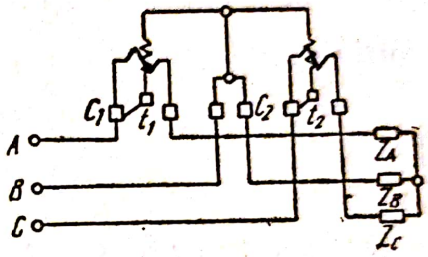
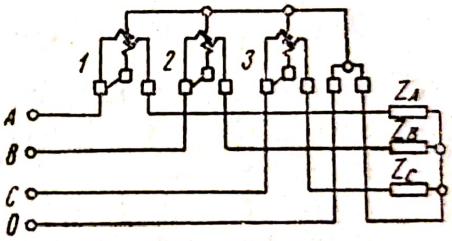
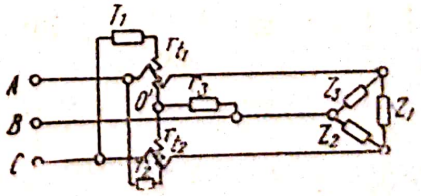
0	1	2	3	4
		Circuite trifazice în triunghi, simetrice sau nesimetrice, cu neutru artificial	10	
IV	Măsurarea puterii reactive cu un wattmetru de putere activă	Circuite trifazice simetrice în stea (sau triunghi)	11	
V	Măsurarea puterii reactive cu două wattmetre de putere activă	Circuite trifazice simetrice sau asimetrice în stea (sau triunghi)	12	
IV	Măsurarea puterii reactive cu trei wattmetre de putere activă	Circuite trifazice simetrice sau asimetrice în stea (sau triunghi)	13	

Tabela 3.2.3 (continuare)

0	1	2	3	4
VII	Măsurarea energiei active utilizînd contoare cu inducţie cu un element de rotaţie	Circuite trifazice simetrice legate în stea cu neutrul accesibil	14	
VIII	Măsurarea energiei active utilizînd contoare cu inducţie cu două elemente de rotaţie	Circuite trifazice simetrice legate în stea (sau triunghi)	15	
IX	Măsurarea energiei reactive utilizînd contoare cu inducţie cu trei elemente de rotaţie	Circuite trifazice simetrice sau asimetrice cu patru conductoare	16	
X	Măsurarea energiei reactive utilizînd contoare cu inducţie cu două elemente de rotaţie	Circuite trifazice simetrice	17	Legarea în circuit conform schemei principale a măsurării puterii active de la V. 12 (v. mai sus)
		Circuite asimetrice	18	
XI	Măsurarea energiei reactive utilizînd contoare cu inducţie cu trei elemente de rotaţie	Circuite simetrice	19	Legarea în circuit conform schemei principiale a măsurării puterii reactive de la VI.13 (v. mai sus)

Scanned with OKEN Scanner

c) Circuitul trifazat cu receptorul legat în triunghi. Măsurarea se execută cu montajul din tabela 3.2.3; cînd bobina de curent se poate conecta în circuitul unei faze se utilizează montajul I.3., iar cînd se creează un neutru artificial, montajul I.4. Instrumentul măsurînd puterea pe fază, puterea totală se obţine cu relaţia (3.2.29).

3.2.6.2. *Metoda de măsurare cu două wattmetre.* Se utilizează în circuitele trifazice cu 3 conductoare, în stea sau în triunghi, simetrice sau nesimetrice (tab.3.2.3.—II.5). Din modul de legare al bobinelor de tensiune şi de curent a celor două wattmetre, rezultă puterile măsurate de acestea (vezi şi diagrama II. 6, tabelul 3.2.3).

$$P_1 = U_{AC} \cdot I_A \cdot \cos(30° - \varphi)\,;\; P_2 = U_{BC} \cdot I_B \cdot \cos(30° + \varphi) \quad (3.2.30)$$

Dezvoltînd relaţiile în caz de simetrie se poate scrie:

$$P_1 = U \cdot I\,(\cos 30 \cdot \cos\varphi + \sin 30 \cdot \sin\varphi)\,;$$
$$P_2 = U \cdot I \cdot (\cos 30\ \cos\varphi + \sin 30 \cdot \sin\varphi) \quad (3.2.31)$$

Puterea totală este egală cu suma puterilor măsurate de wattmetru, P_1 şi P_2:

$$P = P_1 + P_2 = 2U \cdot I \cdot \cos 30 \cdot \cos\varphi = \sqrt{3}U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (3.2.32)$$

Pentru receptorii cu caracter inductiv inducţia wattmetrului I este totdeauna pozitivă, dar a wattmetrului II depinde de unghiul φ astfel: pentru $\varphi<60°$, $P_2>0$ şi $P = P_1 + P_2$; pentu $\varphi = 60°$ $P_2 = 0$ şi $P = P_1$. Pentru $\varphi > 60°$, $P_2 <0$ deci $P = P_1 - P_2$. Deviaţia negativă este dată de wattmetrul cu deviaţia mai mică. Pentru stabilirea semnului indicaţiei se mută sfîrşitul bobinei de tensiune a wattmetrului II pe faza A. În acest caz, bobinei de tensiune i se aplică tensiunea U_{BA}, iar defazajul între I_B şi U_{BA} este $(30 - \varphi)$. Dacă, după mutare, sensul de deviaţie al wattmetrului nu se schimbă, deviaţia iniţială a fost pozitivă.

Pentru receptorii cu caracter capacitiv, în expresiile puterilor P_1 şi P_2 se schimbă semnul lui φ, inversîndu-se modul de variaţie a indicaţiilor wattmetrelor faţă de situaţia precedentă.

Puterea reactivă totală din circuit se calculează cu relaţia:

$$Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2) = \sqrt{3} \cdot 2U \cdot I \cdot \sin 30° \cdot \sin\varphi = \sqrt{3}\,U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (3.2.33)$$

iar defazajul φ între curent şi tensiune, cu relaţia:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q}{P} = \frac{\sqrt{3}\,(P_1 - P_2)}{P_1 + P_2}\,;\; \varphi = \operatorname{arc\,tg}\frac{Q}{P} \quad (3.2.34)$$

3.2.6.3. *Metoda de măsurare cu trei wattmetre.* Se utilizează la măsurarea puterii în sistemele trifazate în stea triunghi, cu sau fără fir neutru, simetrice sau asimetrice (tabelul 3.2.3.— III.8). Indicaţiile celor trei watt-

Scanned with OKEN Scanner

metre sînt întotdeauna pozitive, deci puterea totală de circuit este egală cu suma indicaţiilor wattmetrelor

$$P = \Sigma P_i = P_1 + P_2 + P_3 \qquad (3.2.35)$$

3.2.7. **Măsurarea puterii reactive.** 3.2.7.1. *În circuitele monofazate* puterea reactivă se măsoară cu wattmetrul reactiv — varmetru. Acesta este un instrument electrodinamic sau cu inducţie, care în locul rezistenţei adiţionale are conectată inductanţa L, care produce defazajul ψ între curenţii I_c şi I_t din bobine (fig. 3.2.10). Curentul I_c fiind defazat cu unghiul φ în urma tensiunii iar curentul I_t trebuind să fie defazat cu 90° în urma ei, rezultă condiţia (v. fig. 3.2.17. b):

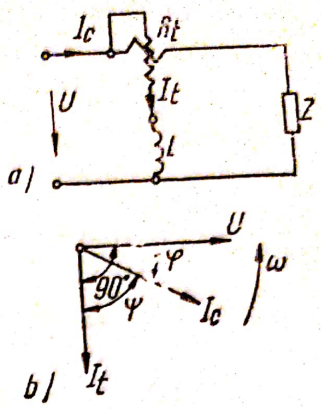


Fig. 3.2.10. Măsurarea puterii reactive într-un circuit monofazat:
a — cu varmetru electrodinamic;
b — diagrama vectorială.

$$\psi + \varphi = 90° \text{ sau } \psi = 90° - \varphi \qquad (3.2.36)$$

Deviaţia instrumentului

$$\alpha = C_1 \cdot I_c \cdot I_t \cos(90 - \varphi) = C_1 \cdot I_c \frac{U}{Z_t} \sin\varphi = C \cdot Q \qquad (3.2.37)$$

este proporţională cu puterea reactivă din circuit.

3.2.7.2. *În circuitele trifazate* puterea reactivă se măsoară prin:

a) Metoda cu un wattmetru de putere activă utilizată în cazul circuitelor trifazice simetrice. Bobina de curent se conectează pe o fază, iar bobinei de tensiune i se aplică tensiunea de linie a celorlalte două faze (tab.3.2.3—IV.11). Puterea măsurată de instrument va fi:

$$Q_1 = I_A \cdot U_{BC} \cos(\widehat{I_A, U_{BC}}) = I_A \cdot U_{BC} \cos(90 - \varphi) = I_A \cdot U_{BC} \sin\varphi \qquad (3.2.38)$$

Puterea reactivă totală se află înmulţind cu $\sqrt{3}$

$$Q = \sqrt{3} \cdot Q_1 = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \sin\varphi \qquad (3.2.39)$$

b) Metoda cu două wattmetre se utilizează în circuitele trifazice simetrice sau asimetrice (tab. 3.2.3—V.12). Fiecare wattmetru indică puterea dată de relaţia (3.2.38), suma indicaţiilor lor fiind Q'

$$Q' = 2 \cdot U_l \cdot I_l \cdot \sin\varphi \qquad (3.2.40)$$

Scanned with OKEN Scanner

Puterea reactivă totală se află înmulţind pe Q' cu $\frac{\sqrt{3}}{2}$,

$$Q = \frac{\sqrt{3}}{2} Q' = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \sin \varphi \qquad (3.2.41)$$

c) Metoda cu trei wattmetre, sau metoda fazelor încrucişate este folosită la măsurarea puterii reactive în circuitele trifazice în stea sau triunghi simetrice sau asimetrice (tab.3.2.3—VI.13). Puterile măsurate pe faze sînt:

$$Q_1 = I_A \cdot U_{BC} \sin \varphi_1 ; \; Q_2 = I_B \cdot U_{CA} \sin \varphi_2 ; \; Q_3 = I_C \cdot U_{AB} \sin \varphi_3 \qquad (3.2.42)$$

Puterea reactivă totală este, ţinînd cont că $U_f = U_l/\sqrt{3}$

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\sqrt{3}} \qquad (3.2.43)$$

În caz de simetrie $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q'$ iar puterea totală devine

$$Q = \frac{3Q'}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \cdot Q' \qquad (3.2.44)$$

deci se reduce la cazul măsurării cu un wattmetru.

3.2.8. **Măsurarea energiei active.** În circuitele de curent alternativ monofazat, măsurarea energiei active se face cu un contor de inducţie monofazat, conform schemei din figura 3.1.11.*b*. În circuitele trifazice se utilizează contoare de inducţie cu unul, cu două sau cu trei elemente de rotaţie.

a) *Contoarele cu un element de rotaţie* se utilizează în circuitele simetrice legate în stea cu neutrul accesibil (tab. 3.2.3—VII.14). Contorul măsurînd energia unei faze, energia totală va fi de trei ori mai mare:

$$W = 3 \cdot W_{fază} \; [\text{kWh}] \qquad (3.2.45)$$

b) *Contoarele cu două elemente de rotaţie* se utilizează în circuitele trifazate legate în stea sau triunghi, simetrice sau nesimetrice (tab. 3.2.3—VIII.15). Se montează ca la măsurarea puterii cu două wattmetre. Instrumentul măsoară energia activă totală a circuitului.

c) *Contoarele cu trei elemente de rotaţie* se utilizează la măsurarea energiei active în circuitele trifazate cu patru conductoare, simetrice sau asimetrice (tab. 3.2.3.—IX.16). Măsoară energia totală a circuitului.

3.2.9. **Măsurarea energiei reactive.** Se utilizează contoare de energie reactivă, care se deosebesc de contoarele active prin schema legăturilor interioare şi prin modul de conectare în circuit (depinde de caracterul simetric sau asimetric al sarcinii).

În circuitele simetrice legarea se face după schemele X—17 şi XI—19 din tabelul 3.2.3, iar în circuitele asimetrice se creează un punct neutru artifi-

Scanned with OKEN Scanner

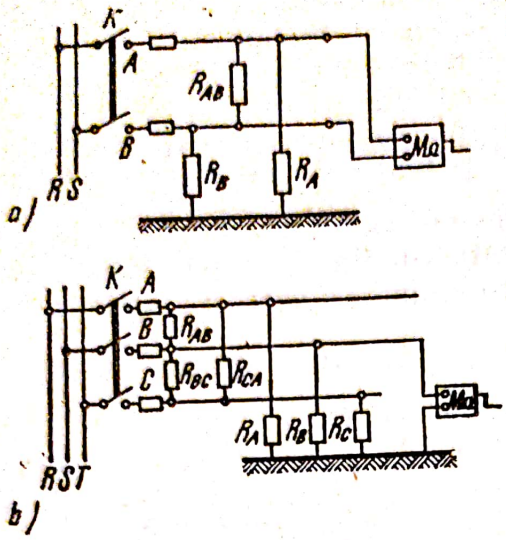


Fig. 3.2.11. Schema echivalentă a rețelei:
a — cu două conductoare; *b* — cu trei conductoare și măsurarea rezistenței de izolație.

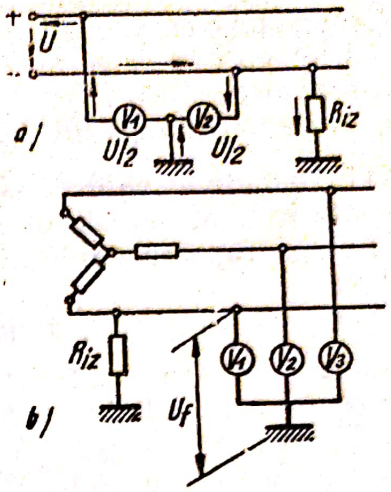


Fig. 3.2.12. Controlul izolației sub tensiune:
a — în circuite de curent continuu; *b* — în circuite trifazate.

cial conform schemei X—18, tabelul 3.2.3, energia reactivă totală fiind egală cu suma celor două energii

$$W = W_1 + W_2 \quad [\text{kVAr}] \tag{3.2.46}$$

3.2.10. **Măsurarea rezistenței de izolație a instalațiilor electrice.** Izolația conductoarelor avînd o oarecare conductivitate, la rețelele sub tensiune apar *curenți de scurgere* (de fugă) între conductoare și între conductoare și pămînt. În schemele echivalente ale rețelelor cu două sau trei conductoare, rezistențele de izolație se consideră concentrate: R_{ij} $(i, j = A, B, C)$ între faze și R_i $(i = A, B, C)$ între faze și pămînt (fig. 3.2.11).

La instalațiile ce nu sînt sub tensiune, măsurarea rezistenței de izolație se face cu megohmmetrul (v. 3.1.3), deconectînd sursa și consumatorii și avînd siguranțele puse, conform schemelor din fig. 3.2. 11. Valoarea minimă a rezistenței de izolație trebuie să fie de 1000 ori mai mare ca tensiunea de serviciu U_s, adică

$$R_{iz} \geqslant 1000 \cdot U_s \quad [\Omega]. \tag{3.2.47}$$

La instalațiile sub tensiune, controlul izolației se face cu ajutorul voltmetrelor conectate între fază și pămînt. În caz că izolațiile fazelor sînt bune, indicațiile voltmetrelor sînt aceleași, iar dacă o fază are izolația defectă, voltmetrul corespunzător va arăta o tensiune mai mică, iar celelalte vor indica tensiuni mai mari. La instalațiile de curent continuu sau alternativ bifazic (fig. 3.2. 12.*a*), indicațiile voltmetrelor sînt egale cu $\frac{U}{2}$ cînd izolația este bună; la instalațiile trifazice (fig. 3.2.12.b) în cazul izolației bune, voltmetrele vor indica tensiunea de fază.

În reţelele de înaltă tensiune, controlul izolaţiei se face fie cu voltmetre electrostatice, fie utilizînd transformatoare de tensiune.

Schemele de control ale izolaţiei se dotează cu dispozitive de semnalizare care acţionează la defectarea izolaţiei reţelei.

Rezistenţa de izolaţie se verifică înainte de darea în exploatare a instalaţiei, după fiecare modificare a sa şi periodic, în exploatarea ei.

3.2.11. **Defecte în cabluri şi în liniile de transport.** Principalele categorii de defecte în linii şi cabluri sînt: contactul liniei cu pămîntul, contactul între linii şi ruperea cablului. Prin compunerea acestora apar deteriorări complexe.

Metodele de localizare a defectului sînt specifice fiecărui defect:

a) Contact cu pămîntul. Se utilizează o metodă în punte de curent continuu, *metoda buclei* (fig. 3.2.13). Extremităţile cablului A', B' se leagă împreună, obţinînd puntea cu braţele: a; b; $y + l + x - x_1$ şi x_1 (distanţa de la capătul cablului la locul defect). Din condiţiile de echilibru rezultă

$$x_1 = \frac{a}{a+b}(y + x + l) \tag{3.2.48}$$

unde l este rezistenţa de legare între A' şi B'. Metoda este aplicabilă dacă cablurile au aceeaşi secţiune şi rezistivitate.

b) *Contact între două linii.* Determinarea se face cu ajutorul unei *metode industriale* şi se bazează pe măsurarea rezistenţei porţiunilor de linie, prin metoda voltampermetrică sau prin metoda punţii:

Fie x,y rezistenţele porţiunilor cablului iar z, rezistenţa de contact (fig. 3.2.14). Rezistenţele porţiunilor de cablu se măsoară sau se calculează astfel: porţiunea $AA' + R = x + y$; porţiunea $ADB + R_1 = 2x + z$; porţiunea $A'DB' + R_2 = 2y + z$. Rezolvînd acest sistem de ecuaţii în funcţie de x, rezistenţa de la un capăt al liniei la defect, rezultă

$$x = \frac{2R + R_1 - R_2}{4} \tag{3.2.49}$$

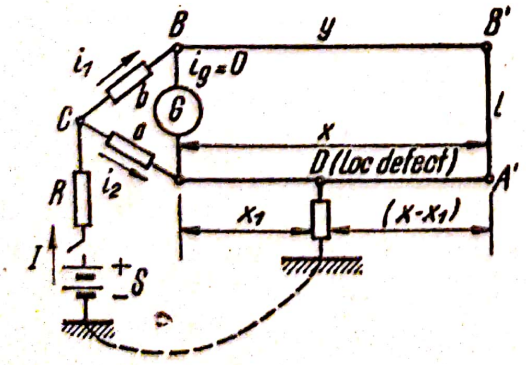


Fig. 3.2.13. Metoda buclei.

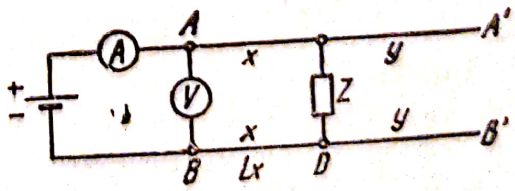


Fig. 3.2.14. Metoda industrială de localizare a contactului între linii.

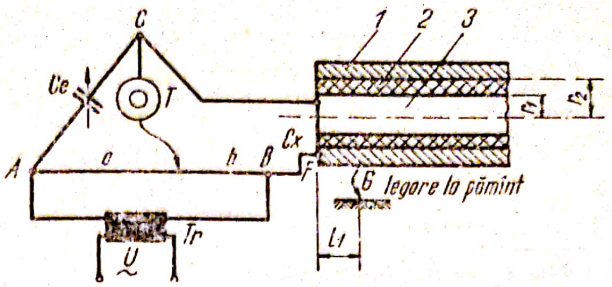


Fig. 3.2.15 Metoda punţii de curent alternativ:
1 — manta de plumb; *2* — izolaţia; *3* — conductor; *G* — punct de rupere.

distanţa corespunzătoare l_x calculîndu-se cu relaţia $l_x = \frac{s \cdot x}{\rho}$, s şi ρ fiind secţiunea, respectiv rezistivitatea cablului.

c) Ruperea cablului. Considerînd cablul ca un condensator cilindric, determinarea locului rupturii se face cu ajutorul unei *punţi cu fir în curent alternativ* şi se bazează pe proporţionalitatea capacităţii cu lungimea cablului. Schema de măsurare în cazul unui cablu în manta de plumb este dată în fig. 3.2.15, capacitatea C a acestui cablu este

$$C = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = A \cdot l \qquad (3.2.50)$$

unde ε este permitivitatea absolută a dielectricului cablului, r_1 raza conductorului, r_2 raza interioară a mantalei de plumb.

La echilibrul punţii, intensitatea sonoră în telefon va fi minimă şi capacitatea necunoscută (a cablului) C_x este:

$$C_x = \frac{b}{a} C_e = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = A \cdot l_1 \qquad (3.2.51)$$

obţinînd lungimea l_1 pînă la locul defectului.

3.2.12. **Măsurarea rezistenţei de punere la pămînt.** Punerea la pămînt este legarea cu pămîntul a părţilor metalice ale unei instalaţii electrice, care în mod normal nu sînt sub tensiune, dar pot ajunge accidental sub tensiune. Acest lucru se realizează cu ajutorul prizei de pămînt, formată din unul au mai multe conductoare aflate în contact direct cu solul (vezi detalii la cap. VII). *Rezistenţa de punere la pămînt* este compusă din rezistenţa conductoarelor de legătură, a prizei şi *rezistenţa de scurgere* (rezistenţa opusă de pămînt la trecerea curentului de la priză la pămînt; practic rezistenţa de punere la pămînt este egală cu rezistenţa de scurgere, celelalte putîndu-se neglija).

Măsurarea rezistenţei de punere la pămînt se face în curent alternativ pentru a nu se produce fenomenul de electroliză în jurul electrozilor, care

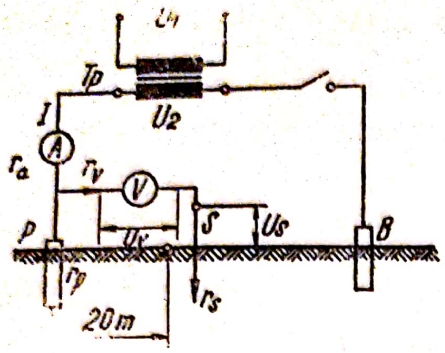


Fig. 3.2.16. Metoda voltampermetrică de măsurare a rezistenţei prizelor de pământ.

ar da naştere la erori. Se utilizează metoda voltampermetrică (fig. 3.2.16) sau punţi de curent alternativ. În montajul din figura 3.2.16 secundarul transformatorului se leagă la priza r_p şi la priza auxiliară B. Curentul ce trece la pământ se determină cu ampermetrul A, iar tensiunea cu voltmetrul V şi sonda S (pentru micşorarea erorilor trebuie ca $r_v \geq 10^3$. r_s, r_s fiind rezistenţa sondei, deci $U_v \gg U_s$).

Rezistenţa de punere la pământ se obţine cu relaţia:

$$r_p = \frac{U_v}{I} \qquad [\Omega] \qquad (3.2.15)$$

valorile ei trebuind să se încadreze în limitele standardizate (v. cap. VII).

3.3. MĂSURAREA ELECTRICĂ A MĂRIMILOR NEELECTRICE

3.3.1. Principii generale. Un mijloc de măsurare (aparat de măsurare) al mărimilor neelectrice se numeşte „electric" dacă conţine cel puţin o parte componentă acţionată electric, care să participe la procesul de măsurare. De cele mai multe ori această parte este un dispozitiv de măsură electric, a cărui utilizare este posibilă deoarece mărimea neelectrică de măsurat este transformată (tradusă) direct sau indirect într-o mărime electrică. În majoritatea cazurilor această transformare se efectuează cu ajutorul traductoarelor.

Schema de principiu a măsurării electrice a unei mărimi neelectrice este dată în figura 3.3.1. După modul transformării mărimii neelectrice în mărime electrică, traductoarele se împart în traductoare generatoare, care efectuează o convertire activă, adică transformă diversele forme ale energiei în energie electrică şi traductoare parametrice, care efectuează o convertire pasivă, adică variaţia mărimii neelectrice se traduce prin variaţii ale parametrilor electrici (R, L, C). Această împărţire este explicitată în tabela 3.3.1.

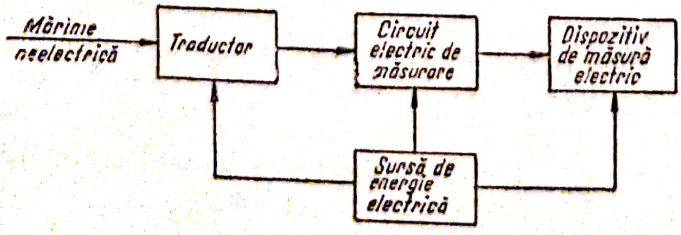
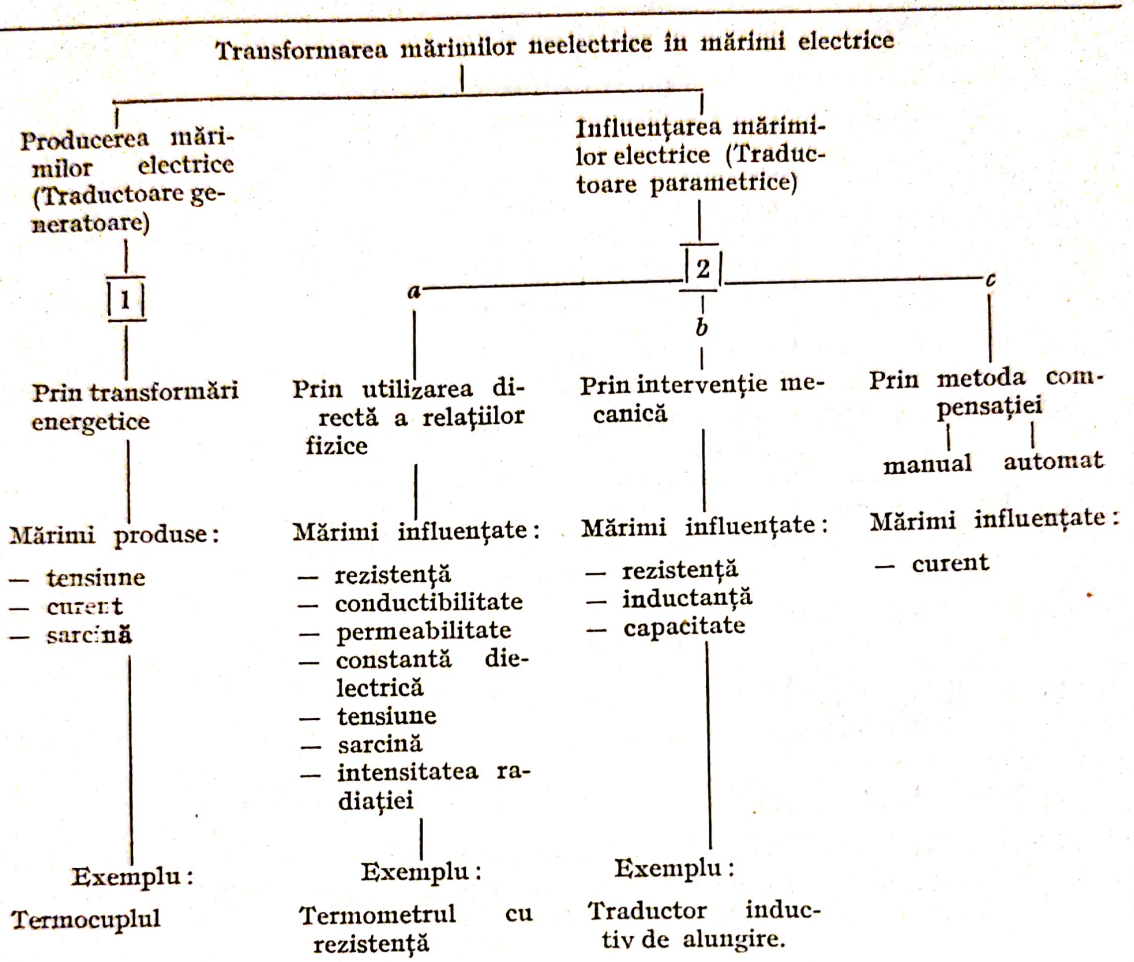


Fig. 3.3.1. Schema măsurării electrice a mărimilor neelectrice.

Tabela 3.3.1

Transformarea mărimilor neelectrice în mărimi electrice



În tabela 3.3.2. sînt date principalele transformări energetice în baza cărora se construiesc traductoarele generatoare, care au în general randament scăzut şi dezvoltă puteri mici ($10^{-10}—10^{-6}$W).

Traductoarele parametrice corespunzătoare grupei a doua din tabela 3.3.1 sînt foarte variate pentru că există un mare număr de relaţii de interdependenţă între mărimile neelectrice şi cele electrice. Cele mai uzuale sînt: traductoarele rezistive, inductive şi capacitive.

a) Traductoarele rezistive, se bazează pe modificarea rezistenţei datorită mărimii neelectrice fie în urma unei relaţii fizice între mărimea neelectrică şi rezistenţă, fie prin intervenţie mecanică (v. tab. 3.3.3). Ultimele se mai numesc şi potenţiometre, fiind acţionate de obicei printr-o mişcare de rotaţie, cele cu mişcare rectilinie fiind rar utilizate. Tipurile principale de traductoare rezistive sînt date în tabela 3.3.3.

b) Traductoare inductive. Se bazează pe modificarea inductanţei ca urmare a acţiunii mărimii neelectrice, sistemele constructive fiind:

— sisteme în care se influenţează o singură inductanţă (fig. 3.3.2 *a* şi *b)*

Tabela 3.3.2

Producerea mărimilor electrice prin transformări energetice

Nr. crt.	Tipul transformării	Principiul fizic	Mărimea neelectrică	Mărimea electrică	Traductorul
1	Mecano-electrică	Legea inducţiei	Turaţie	Tensiune	Tahogenerator
2		Legea inducţiei	Debit	Tensiune	Traductor inductiv de debit
3		Efectul piezoeletric	Presiune	Sarcină	Capsulă piezoelectrică de măsurat presiunea
4	Termoelectrică	Efectul termoelectric	Temperatură	Tensiune	Termocuplu
5	Optico-electrică	Efectul fotoelectric	Iluminare	Curent	Celulă fotoelectrică

Tabela 3.3.3.

Traductoare rezistive

Nr. crt.	Mărimea neelectrică de măsurat	Relaţia fizică pe baza căreia se realizează transformarea	Traductorul	Observaţii
1	Alungirea	Efectul piezorezistiv	Benzi dilatometrice	Utilizare în tensometrie
2	Temperatura	Variaţia rezistenţei conductoarelor şi semiconductoarelor cu temperatura	Termometre cu rezistenţă; Termistoare	Măsurări industriale şi înaltă frecvenţă
3	Forţa	Variaţia rezistenţei semiconductoarelor (cărbune) cu presiunea de contact	Capsulă dinamometrică cu cărbune	Abandonat; se folosesc capsule cu benzi dilatometrice
4	Umiditatea (solide)	Variaţia rezistenţei materialelor solide, higroscopice, cu umiditatea lor	Higrometru rezistiv (umidometru)	
5	Intensitatea iluminării	Variaţia rezistenţei elementelor fotoelectrice cu iluminarea	Rezistenţă fotoelectrică	
6	Nivelul lichidelor	Deplasarea cursorului unui reostat la modificarea nivelului.	Indicator rezistiv de nivel	Se utilizează reostate cu mişcare circulară (potenţiometre)

Scanned with OKEN Scanner

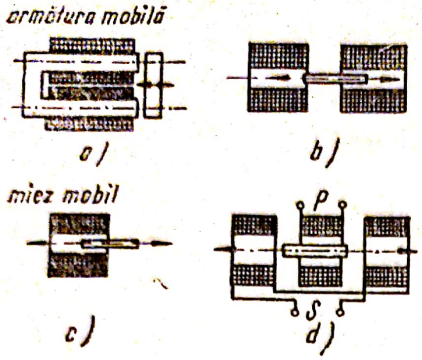


Fig. 3.3.2. Principiile constructive ale traductoarelor inductive:
a — bobina cu armătură; *b* — bobina cu miez mobil; *c* — bobină diferențială; *d* — transformator diferențial.

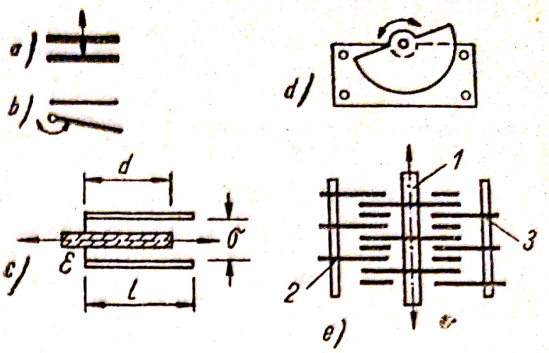


Fig. 3.3.3. Principiile constructive ale traductoarelor capacitive
a — condensator cu armătură deplasabilă; *b* — oscilantă; *c* — cu dielectric deplasabil; *d* — condensator rotativ; *e* — condensator diferențial.

— sisteme în care se influențează două inductanțe în sensuri contrare (bobina diferențială cu miez mobil fig. 3.3.2.*c*)

— sisteme în care se influențează inductanțe mutuale (transformatorul diferențial cu miez mobil fig. 3.3.2.*d*)

Măsurarea variațiilor de inductanță se face de obicei cu punți de curent alternativ, la frecvența rețelei. Utilizarea lor este indicată în tabela 3.3.4.

c) Traductoare capacitive. Se bazează pe variația capacității unui sistem de armături, în urma acțiunii mărimii neelectrice: deplasarea unei armături (fig. 3.3.3. *a*), armătură oscilantă (fig. 3.3.3. *b*), deplasarea unui dielectric solid între armături (fig. 3.3.3. *c*). Se mai utilizează condensatori rotativi și diferențiali (fig. 3.3.3. *d* și *e*). Utilizarea traductoarelor capacitive este dată în tabela 3.4.5.

Pe lîngă tipurile amintite, pentru măsurători speciale se construiesc traductoare bazate pe efectul fotoelectric, magnetoelastic, piezoelectric etc.

Considerînd traductorul un element funcțional al schemei din figura 3.3.1, este necesar ca acesta să aibă indicate caracteristicile sale. Aceste caracteristici sînt: domeniul de măsurare, limita erorilor, factorul de transformare, limitele de influențare datorită mediului ambiant, domeniul de frecvență, etc.

Metodele și aparatura de măsurare a mărimilor electrice rezultate prin transformarea mărimilor neelectrice sînt indicate în paragrafele 3. 1 și 3.2.

În cele ce urmează se va trata măsurarea mărimilor neelectrice care se întîlnesc uzual în domeniul construcțiilor.

3.3.2. **Măsurarea mărimilor mecanice.** 3.3.2.1.2. *Măsurarea lungimilor.* Neavînd o largă utilizare în domeniul construcțiilor, se vor indica doar domeniile de măsurare și metodele de măsură: măsurarea deplasărilor, între 10^{-3} și 10^{3} mm., prin metode inductive și capacitive; măsurarea abaterilor de lungime, cu micrometre electrice inductive și capacitive; măsurarea grosimilor, cu metode micrometrice, capacitive, cu radiații radioac-

Tabela 3.3.4

Traductoare inductive

Nr. crt.	Mărimea neelectrică de măsurat	Relaţia fizică pe baza căreia se realizează transformarea	Traductorul	Observaţii
1	Lungimea (deplasarea, abatere de la lungime, grosime, nivel, amplitudinea oscilaţiilor, etc)	Variaţia inductanţei ca urmare a modificării poziţiei miezului faţă de sistemul de bobine datorită variaţiei lungimii	Traductor inductiv de lungimi; micrometru inductiv; nivelmetru inductiv, etc.	Traductoarele inductive se folosesc la măsurarea majorităţii mărimilor mecanice, datorită multiplelor posibilităţi de adaptare la diverse condiţii de măsurare.
2	Alungirea (deformare mecanică în general)	Idem, modificarea poziţiei miezului datorîndu-se deformaţiei unei piese.	Tensometru inductiv	
3	Forţă, presiune	Variaţia poziţiei miezului faţă de bobine cu presiunea de contact	Capsule dinamometrice inductive	
		Efectul magnetoelastic (variaţia permeabilităţii miezului cu presiunea de contact)	Capsulă dinamometrică magnetoelastică	
4	Debitul	Proporţionalitatea tensiunii induse în lichidul bun conducător de electricitate (pe baza legii inducţiei) cu viteza lichidului	Traductor inductiv de debit	

tive, ultrasunete, etc; măsurarea nivelului, cu mecanism plutitor şi transmitere electrică, metode capacitive şi cu radiaţii radioactive.

3.3.2.2. *Măsurarea alungirii (dilatării)*. Sînt măsurători de mare importanţă în tehnica construcţiilor, efectuîndu-se atît măsurători statice (ca verificare a calculului sau pentru determinarea distribuţiei tensiunilor) cît şi măsurători dinamice, menite să pună în evidenţă rezultatele unor solicitări ce nu se pot calcula.

Conform legii lui Hooke, în domeniul deformărilor elastice, alungirea ε este proporţională cu tensiunea elastică σ, factor de proporţionalitate fiind modul de elasticitate E.

$$\varepsilon = \frac{1}{E}\sigma, \qquad (3.3.1)$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 3.3.5

Traductoare capacitive

Nr. crt.	Mărimea neelectrică de măsurat	Relaţia fizică pe baza căreia se realizează transformarea	Traductorul	Observaţii
1	Lungimea (deplasare, abatere de la lungime, grosime, nivel)	Variaţia capacităţii prin modificarea dimensiunilor geometrice a armăturilor şi a permitivităţii dielectricului	Traductor capacitiv de lungime; micrometru capacitiv; nivelmetru capacitiv	Măsurarea deplasărilor se face rar; mare răspîndire-micrometrul capacitiv.
2	Forţa şi presiunea	Modificarea capacităţii datorită variaţiei distanţei dintre armături cu presiunea	Capsule dinamometrice capacitive; manometru capacitiv	
3	Umiditatea (solide, lichide)	Variaţia capacităţii datorită modificării constantei dielectrice a substanţei higroscopice în funcţie de umiditate	Higrometru capacitiv (umidometru)	

În cazul sistemelor de măsurat uzuale, alungirile ce trebuie măsurate sînt cuprinse între 0,1 şi 10 μ.

Cea mai răspîndită metodă de măsurare utilizează tensometrul cu bandă, care va fi analizat în cele ce urmează:

a) Tensometrul cu bandă se bazează pe efectul piezorezistiv, adică variaţia rezistenţei unui conductor sau semiconductor cu dilatarea lui. Este format dintr-o sîrmă lipită pe un suport de hîrtie sau material plastic, (fig. 3.3.4) urmînd a fi aplicată prin chituire pe obiectul studiat. În ultimul timp se utilizează în locul sîrmei, folii metalice (fig. 3.5.5), precum şi benzi dilato-

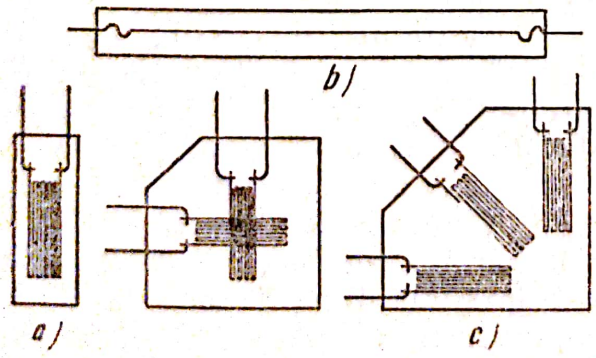


Fig. 3.3.4. Benzi dilatometrice din sîrmă:
a — în formă de meandre; *b* — bandă cu o singură sîrmă; *c*, *d* — rozete.

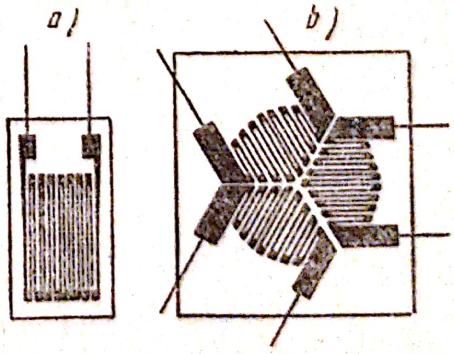


Fig. 3.3.5. Benzi dilatometrice cu folii:
a — în formă de meandre; *b* — rozetă.

metrice cu semiconductoare a căror conductivitate se modifică mult mai mult la metale sub influenţa tensiunilor mecanice.

Variaţia relativă a rezistenţei conductorului r este:

$$r = \frac{R - R'}{R} = \varepsilon + \tau + 2\,\mu\varepsilon \qquad (3.3.2)$$

unde R este rezistenţa iniţială, R' rezistenţa conductorului alungit şi μ coeficientul lui Poisson (raportul între contracţia transversală şi alungire) egal cu cca. 0,3 pentru majoritatea metalelor. τ este variaţia relativă a rezistivităţii.

Panta traductorului, denumită şi „factor k", trebuie să fie constantă, fiind dată de relaţia

$$k = \frac{r}{\varepsilon} = 1 + 2\,\mu + \frac{\tau}{\varepsilon}\cdot \qquad (3.3.3)$$

Cea mai mare răspîndire ca material activ pentru traductoare o are constantanul, deoarece îndeplineşte majoritatea cerinţelor impuse.

Sîrmele de măsurare de 0,02 mm. diametru se fixează pe suporţi depinzînd de temperatura de măsurare (hîrtie pînă la 70 °C, plastic 200 °C, azbest 400 °C). Eroarea care apare se datoreşte dilataţiei transversale care acţionează asupra punctelor de întoarcere şi este cu atît mai mare cu cît banda este scurtă. Acest lucru se elimină folosind o singură sîrmă (v.fig.3.3.4.a), execuţii utilizate în special la betoane unde este necesară o mare lungime de măsurare, datorită omogenităţii materialului.

Lipirea benzii pe locul de măsurat este foarte importantă, motiv pentru care nu se mai pot dezlipi fără a le distruge.

Caracteristicile benzilor dilatometrice uzuale sînt: valori maxime admisibile de măsurat: $\pm$ 3 pînă la $\pm$ 5‰; lungimea cuprinsă între 3 şi 60 mm; la modele speciale 0,8—500 mm; grosimea de la 0,05 la 0,2 mm; o alungire de 1‰ necesită tensiunile de ordinul 10^3 N; rezistenţe nominale 120 ohmi şi 600 ohmi cu abateri de $\pm$ 0,5%; toleranţa pantei 1—3%; curent normal de măsurare pentru benzi de sîrmă, de 10—20 mA.

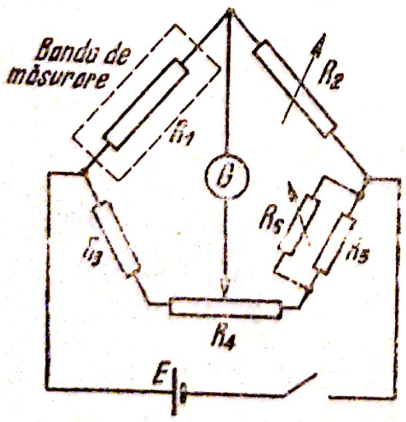


Fig. 3.3.6. Punte Wheatstone utilizată la măsurarea statică a alungirilor.

Măsurătorile statice utilizează o punte Wheatstone în curent continuu (fig.3.3.6); R_1 este banda de măsurat, R_2 o rezistenţă variabilă, R_3 şi R_5 rezistenţe fixe, R_6 serveşte la compensarea diferenţelor datorită toleranţei rezistenţei benzii iar R_4, mică în raport cu R_3 şi R_5, serveşte la echilibrarea punţii (datorită variaţiei mici a rezistenţei R_1). Cu un galvanometru cu spot luminos se pot măsura alungiri pînă la 10^{-6}. Influenţa temperaturii se compensează în general prin înlocuirea rezistenţei R_2 cu o bandă de acelaşi fel cu R_1, la aceeaşi temperatură şi nesolicitată mecanic.

Scanned with OKEN Scanner

Alungirile mari se măsoară prin metoda deviației acului indicator. Pentru măsurători statice și dinamice se folosesc punți cu frecvențe purtătoare. Limitele erorilor sînt cuprinse între 1 și 3%, dar se poate mări distanța între punctul de măsurare și de citire la sute de metri.

b) Măsurarea inductivă se utilizează în special la măsurători dinamice, asigurînd un domeniu minim de măsurare de 1 μm și o limită a erorilor de circa 2%. Se efectuează cu traductoare inductive, care îndeplinesc condițiile impuse traductoarelor pentru măsurarea alungirilor.

c) Tensometrul cu coardă se bazează pe existența unei relații precise între alungirea coardelor ε și frecvența proprie a ei :

$$\varepsilon = K \cdot (f^2 - f_0^2) \tag{3.3.4}$$

unde K este un factor ce caracterizează coarda, f_0 — frecvența fundamentală și f frecvența corzii alungite. Tensometrul cu coardă compară frecvența corzii de măsură cu aceea a unei corzi de comparație. Modificarea necesară a lungimii corzii de comparație, pentru a avea aceeași frecvență de oscilație cu a corzii de măsură, este chiar valoarea alungirii corzii de măsură. Această comparație se face pe cale electrică, cu ajutorul osciloscopului, determinînd pe baza figurilor lui Lissajoux, momentul egalității frecvențelor.

3.3.2.3. *Măsurarea forței și tensiunii.* Măsurarea se poate face cu tensometre, deoarece pe baza relației 3.3.1. cunoscînd modulul de elasticitate se poate afla tensiunea σ, care apare în corp și deci forța $F = \sigma . A$, care se exercită asupra corpului studiat (lucru posibil numai cînd se cunoaște secțiunea și este uniform încărcată).

Metodele uzuale pentru măsurarea forței și tensiunii sînt :

a) Măsurarea cu traductor rezistiv, se bazează pe variația rezistenței substanțelor cu presiunea, utilizîndu-se azi frecvent capsule dinamometrice (doze) cu benzi dilatometrice. În aceste doze, mărimea de măsurat acționează asupra unui corp metalic pe suprafața căruia se află fixată banda de măsurare (la unele modele 4 și chiar 8 benzi). Benzile se leagă în punte și pentru măsurare se utilizează metoda deviației cu amplificarea sau cu punte dublă.

b) Măsurarea cu traductor capacitiv, bazată pe modificarea grosimii aerului dintre două plăci ale unui condensator sub acțiunea mărimii de măsurat. Nu se mai utilizează pentru forțe mari (datorită exigențelor ridicate impuse izolației), ci doar pentru presiuni mici la gaze și lichide.

c) Măsurarea cu traductor inductiv, utilizează sistemele de traductoare inductive cunoscute. Se construiesc capsule dinamometrice inductive, în două variante : *cu membrană* pentru valori de $5 \cdot 10^2 - 2.10^5$ N. și erori între 1—3% și cu *cilindru comprimat,* pentru valori de 100—1500 tf. și limită a erorilor de ± 3%.

d) Măsurarea cu traductor magnetoelastic, bazat pe efectul cu același nume, adică pe modificarea magnetizării substanțelor feromagnetice sub influența tensiunii elastice. Efectul este foarte pronunțat la aliajele de nichel

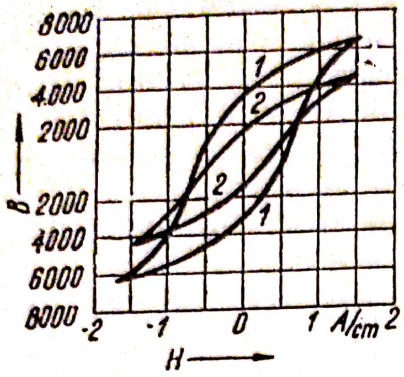


Fig. 3.3.7. Curba de magnetizare la:
1 — material netensionat; *2* — material tensionat.

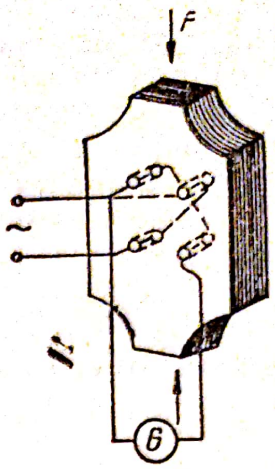


Fig. 3.3.8. Principiul construcției presductorului.

cu fier. Sub presiune permeabilitatea scade iar sub tracțiune crește. Curbele de magnetizare a unui material feromagnetic netensionat diferă de cele ale materialului tensionat, așa cum se vede în fig. 3.3.7.

Capsulele dinamometrice magnetoelastice uzuale sînt inductanțe înglobate în fier, care au un miez cu pronunțate proprietăți magnetoelastice. Domeniu: $6.10^3 - 1.5.10^6$ N. Măsurarea electrică se efectuează cu scheme diferențiale.

Tot pe baza acestui efect s-a construit „presductorul" (fig. 3.3.8), format dintr-un miez din tole de transformator cu patru găuri în care sînt introduse două bobinaje încrucișate. În bobinajul primar aplicîndu-se o tensiune alternativă, în lipsa solicitărilor mecanice, în circuitul secundar nu se induce t.e.m. Solicitarea mecanică F în sensul săgeții, provoacă o distorsiune a distribuției fluxului care induce t.e.m. în circuitul secundar, dînd posibilitatea măsurării forței (persiunii). Elementele se pot îmbina rezultînd presductoare pentru presiuni mai mari.

e) Măsurarea cu traductor piezoelectric, se bazează pe fenomenul piezoelectricității și anume al apariției de sarcini electrice în cristalele de cuarț sau turmalin, atunci cînd acestea sînt supuse la tensiuni mecanice după anumite axe ale cristalului numite axe electrice (X_1, X_2 și X_3 — fig. 3.3.9.*a*). Sarcinile electrice astfel formate sînt proporționale cu mărimea forței și-și schimbă semnul la schimbarea sensului forței. Mărimea sarcinii se determină măsurînd tensiunea U cu care se încarcă o capacitate C

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{d}{C} \cdot F \qquad (3.3.5)$$

unde $Q = d.F$ este sarcina ce ia naștere pe suprafețele perpendiculare pe forța F care acționează pe direcția unei axe electrice a cristalului de cuarț (*v.* și schema de măsurare — fig. 3.3.9. *b*); $d = 0{,}0226$ As/kgf (0,0023 As ρ/N), se numește constanta piezoelectrică. Din (3.3.5) rezultă că $\frac{d}{C}$ este chiar

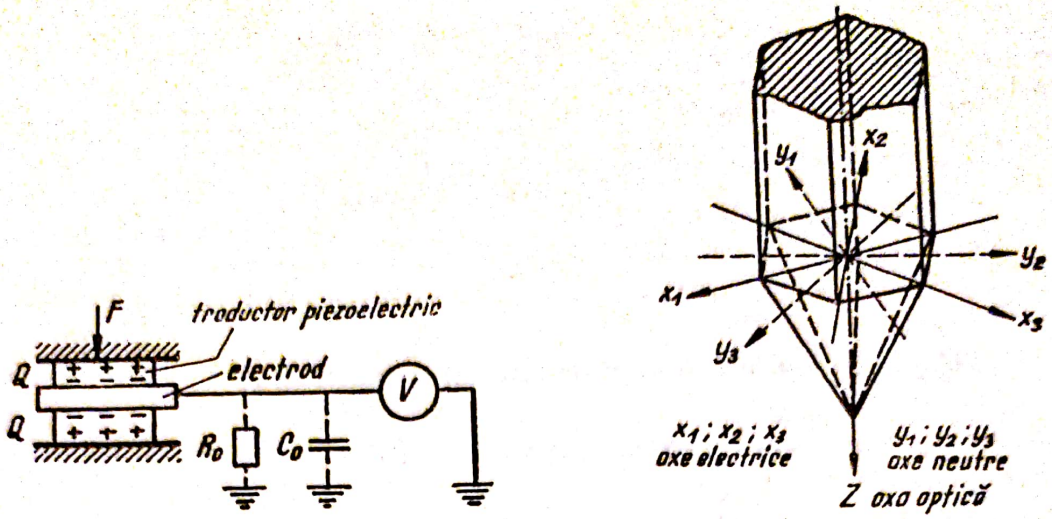


Fig. 3.3.9.
a — Reprezentarea simplificată a cristalului de cuarț; *b* — Schema principială a măsurării cu traductor piezoelectric.

panta traductorului, valoarea sa maximă fiind de ordinul 5 V/N. Practic însă datorită capacității proprii a dispozitivului de măsurat (v. fig. 3.3.9. *b*) rezultă pentru pantă o valoare mult mai mică, de ordinul 2.10^{-3} V/N.

Cel mai mare avantaj al acestor traductoare este posibilitatea de utilizare la măsurători dinamice, putînd fi reproduse perfect frecvențe de măsurare de 15 kHz. și chiar mai mult.

O altă variantă constructivă este aceea de cristal stratificat care este compus din mai multe cristale metalizate prin vaporizare în vid. Se utilizează la procese foarte rapide (pînă la 200 kHz.) și într-un interval de temperatură mare, de la −200 la + 240°C.

3.3.2.4. *Măsurarea amplitudinilor oscilațiilor*. Se utilizează sisteme sensibile la deplasare, bazate pe traductoare inductive sau electrodinamice.

Traductorul inductiv de oscilații (fig. 3.3.10) este compus din sistemul oscilant (bara 1 și resortul de rapel 2) montat pe cuțite, care transmite mișcările sale la miezul de fier moale 6 al bobinei diferențiale 7, rezultînd modificarea inductanței acesteia. Amortizarea se face pe cale electromagnetică prin deplasarea paletei 5 în întrefierul magnetului 4. Se pot măsura deplasări cu amplitudini de oscilație cuprinse între 2 μm. și 25 mm. în gama de frecvențe de 1—100 Hz. Fiind greu, se utilizează în special la studiul obiectelor mari (clădiri, poduri, etc.). Etalonarea instalației se face static cu ajutorul cronometrului mecanic.

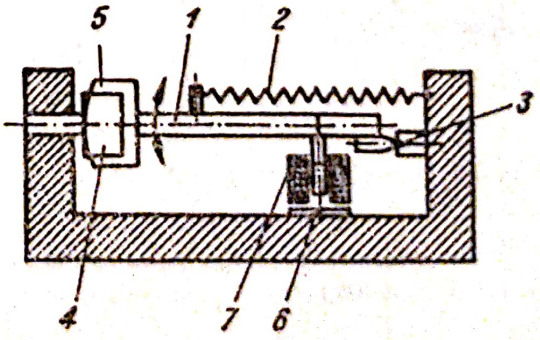


Fig. 3.3.10. Traductor inductiv de oscilații.

Traductoarele electrodinamice servesc la măsurarea deplasării, vitezei și acce-

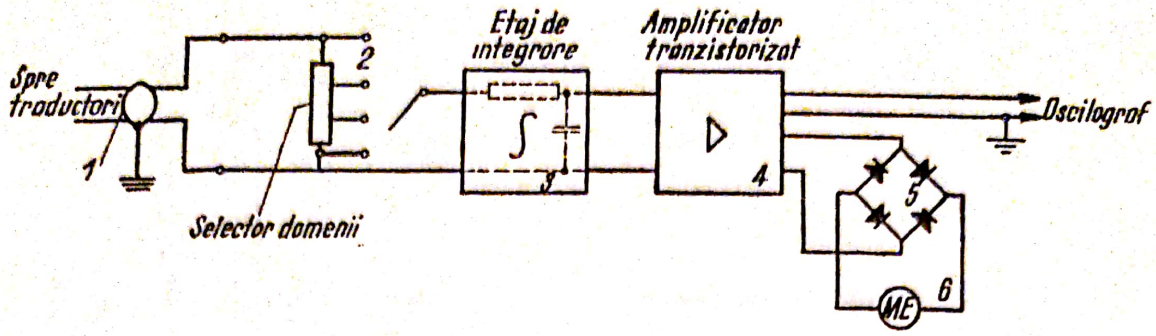


Fig. 3.3.11. Schema electrică de măsurare a amplitudinilor oscilaţiilor.

leraţiei, sînt mult mai uşoare putînd fi folosite pînă la frecvenţe de 1000 Hz.

Schema de măsurare electrică este indicată în figura 3.3.11 în care tensiunea u de la traductor este transmisă prin intermediul unui cablu ecranat 1 la selectorul de domenii de măsurare 2 şi apoi la un etaj de integrare[1]) 3, care va da la ieşire o tensiune proporţională cu $\int u \cdot dt$, deci cu amplitudinea oscilaţiei. Aceasta este amplificată şi redresată şi valoarea ei este indicată de dispozitivul magnetoelectric ME. A doua ieşire se face pe un oscilograf vizualizîndu-se oscilaţiile.

3.3.3. **Măsurarea mărimilor optice.** Vom limita studiul măsurării mărimilor optice la măsurarea iluminării ca fiind de cea mai mare utilitate în realizarea corectă a iluminatului.

Partea principală a aparatelor de măsurare a iluminărilor (fotometre) este elementul fotoelectric care dă un curent proporţional cu iluminarea. Se pot utiliza:

— celule fotoelectrice (fig. 3.3.12) în care electronii emişi de catod sub influenţa luminii se deplasează spre anod sub influenţa tensiunii continue (tensiune de serviciu) U_z aplicată între electrozi, rezultînd curentul I proporţional cu iluminarea E.

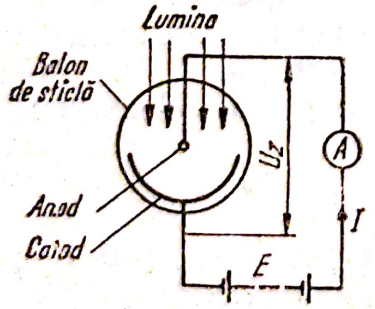


Fig. 3.3.12. Celulă fotoelectrică.

— fotomultiplicatoare

— fotorezistenţe

— elemente fotoelectrice cu seleniu (fig. 3.3.13) în care, electronii emişi de stratul de seleniu sub influenţa luminii, trec prin stratul de baraj de sulfură de cadmiu spre electrodul metalic de contact (inel). Între acesta şi electrodul suport

[1]) Integrarea se poate face utilizînd un circuit RC cu elemente convenabil alese, astfel că tensiunea de ieşire U_e se poate exprima în funcţie de cea de intrare şi de R, C: $U_e = -\frac{1}{R \cdot C}\int U_i \cdot dt$, adică se obţine prin integrarea mărimii de intrare.

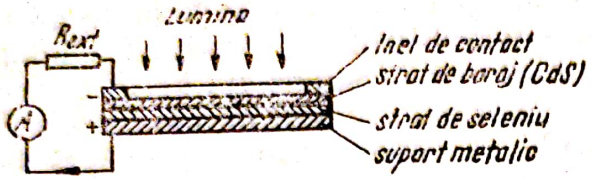


Fig. 3.3.13. Element fotoelectric cu seleniu.

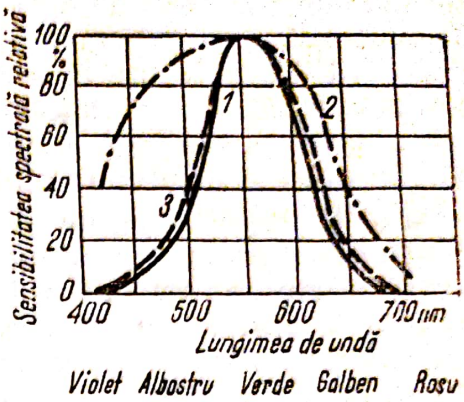


Fig. 3.3.14. Curba spectrală:
1 — ochiul omenesc; *2* — fotoelement cu seleniu; *3* — fotoelement cu filtre de adaptare.

apare o diferență de potențial U_0, care dă naștere în circuit unui curent fotoelectric I proporțional cu iluminarea E:

$$I = \frac{U_0}{R_i + R_{ext}} \tag{3.3.6}$$

R_i fiind rezistența interioară a elementului.

De obicei se utilizează acest fotoelement, deoarece sensibilitatea lor spectrală este apropiată de aceea a ochiului omenesc (vezi curbele de sensibilitate din fig. 3.3.14).

Fotometrele se realizează cu mai multe domenii de măsurare, schema principială a unui astfel de aparat, fabricat de firma AEG fiind indicată în figura 3.3.15. Domeniile de măsură, între 15—6000 lux se selectează cu ajutorul comutatorului 3. Pentru iluminări mai mari de 60 lux se lucrează

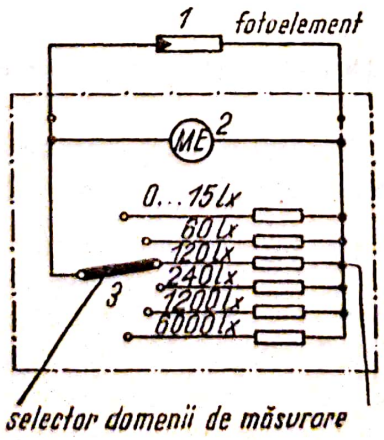


Fig. 3.3.15. Schema de principiu a fotometrului *AEG*.

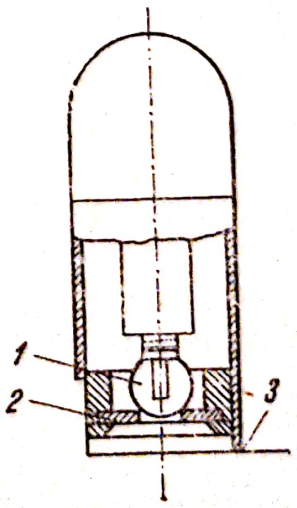


Fig. 3.3.16. Schema unui reflectometru.

cu filtre de adaptare. Pentru iluminări mai mari de 6000 lux, se mai introduce un filtru, avînd transparenţa de 5% indiferent de lungimea de undă, extinzînd domeniul de măsură pînă la 120.000 lux.

Iluminările mici se măsoară cu elemente fotoelectrice multiple şi cu galvanometre cu oglindă. Pentru supravegherea iluminării în timpul exploatării se utilizează fotometre autocompensatoare.

Datorită importanţei lor amintim şi unele probleme legate de măsurarea reflexiei la suprafaţa substanţelor solide sau pulverulente. Aparatul simplu pentru măsurarea reflexiei totale (fig. 3.3.16.) este compus din becul 1 care luminează suprafaţa de cercetat 3 printr-un orificiu practic în fotoelementul 2. Radiaţia reflectată de suprafaţa 3 cade pe fotoelement şi provoacă apariţia unui curent fotoelectric ce se măsoară cu un dispozitiv magnetoelectric. Este o metodă de comparaţie, deoarece în prealabil aparatul se etalonează cu ajutorul unui aparat etalon. Cercetarea suprafeţelor colorate necesită intercalarea de filtre.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL IV

MAŞINI ELECTRICE

Prin maşina electrică se înţelege o maşină, în general, rotativă, care transformă puterea mecanică în putere electrică (sau invers), sau care transformă parametrii energiei electrice (tensiune, curent, frecvenţă, fază, felul curentului).

Maşinile electrice se împart în maşini de curent continuu şi maşini de curent alternativ.

Maşinile electrice sînt reversibile, aceeaşi maşină putînd lucra în regim de generator sau în regim de motor.

Prin generator electric se înţelege o maşină electrică care transformă puterea mecanică în putere electrică. Prin motor electric se înţelege o maşină electrică care transformă puterea electrică în putere mecanică.

Maşinile de curent alternativ se împart în două mari clase: maşini sincrone şi maşini asincrone (ultimele cu, sau fără colector).

Tot în această parte a cursului va fi tratat şi transformatorul electric. Prin transformator electric se înţelege un aparat electromagnetic care transformă parametrii (în general, tensiunea şi curentul, alteori frecvenţa, numărul de faze) energiei electrice de curent alternativ.

Deşi transformatorul electric nu este o maşină electrică, totuşi el este studiat în manualele de maşini electrice, dat fiind principiul de funcţionare şi multe aspecte teoretice comune cu cele ale maşinilor electrice.

4.1. MAŞINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU

4.1.1. **Construcţia maşinii de curent continuu,** *bipolară, cu bobinaj în tambur* (fig. 4.1.1). Maşina are trei părţi principale.

a) Statorul (inductorul) constă dintr-un jug de oţel moale 1, polii maşinii 4 şi tălpile polare 2. Bobinajul statorului, confecţionat din conductoare de cupru izolate, este secţionat în două bobine de magnetizare 3, legate în serie. Extremităţile bobinei sînt legate la bornele C, pozitivă şi D negativă, de pe placa de conexiuni a maşinii.

b) Rotorul (indusul) 8 este cilindric, format din tole de oţel silicios, dispuse perpendicular pe axa lui. La periferia sa se află o serie de crestături

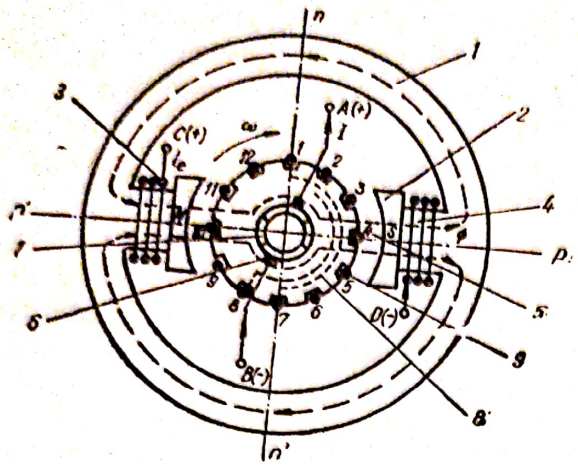


Fig. 4.1.1. Maşină electrică de curent continuu.

în care se introduc conductoarele unei înfăşurări închise 9, din cupru. Între rotor şi stator există întrefierul 5.

c) Colectorul 7 constă dintr-o serie de lamele de cupru, izolate între ele şi faţă de maşină, la care se leagă extremităţile spirelor înfăşurării rotorului. Pe colector glisează periile 6 din grafit, care sînt legate la bornele principale ale maşinii *A*, pozitivă şi *B* negativă. Prin intermediul colectorului şi al periilor se efectuează o comutare a f.e.m. alternative indusă în bobinajul rotorului, astfel încît la bornele *A* şi *B* ale maşinii se menţine o polaritate constantă, deci o tensiune de borne continuă.

Bobinajul rotorului, executat din bobine introduse în crestături, se numeşte bobinaj în tambur. Un astfel de bobinaj se compune din conductoare de dus, care se află sub un pol, fiind străbătute de curent într-un sens, şi din conductoare de întors, situate sub un pol contrar, străbătute de un curent invers curentului din conductorul de dus (de exemplu conductoarele 2 şi 8 din figura 4.1.2.a).

Un conductor de dus şi unul de întors formează o spiră. Mai multe spire legate în serie, care se găsesc în aceleaşi crestături, formează o bobină.

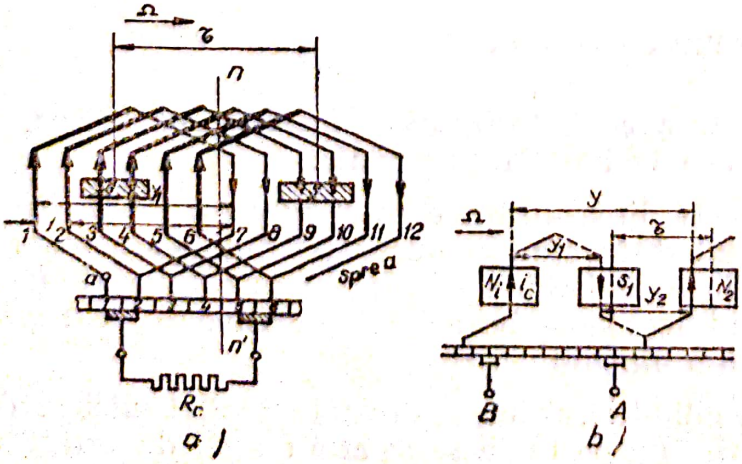


Fig. 4.1.2. Schema desfăşurată a unei înfăşurări simple: *a* — paralel; *b* — serie.

Totalitatea spirelor legate în serie între două lamele consecutive ale colectorului formează o secțiune. Totalitatea conductoarelor active de dus sau de întors, care formează o latură a secțiunii, se numește mănunchi.

Intervalul dintre două mănunchiuri legate între ele se numește pas de bobinaj.

Pasul y_1 de pe suprafața rotorului opusă colectorului (din spate) se numește pas de sus sau pasul secțiunii și leagă între ele un conductor de dus și unul de întors consecutiv al unei secțiuni.

Pasul dintre colector (din față, y_2), numit pas de întors sau pas de legătură, leagă sfîrșitul unei secțiuni cu începutul secțiunii următoare.

Suma algebrică a pașilor elementari y_1 și y_2 se numește pas rezultant sau pas al înfășurării și reprezintă intervalul dintre începuturile a două secțiuni consecutive:

$$y = y_1 + y_2 \tag{4.1.1.}$$

Sensul pozitiv al pasului se consideră sensul de mișcare al acelor de ceasornic.

Bobinajele la care pasul y_1 al secțiunii este egal cu pasul polar, care reprezintă distanța dintre axele a doi poli de nume contrar consecutivi, se numesc bobinaje diametrale. Forța electromotoare indusă în secțiunea unui astfel de bobinaj este maximă.

Prin cale de curent se înțelege porțiunea din înfășurarea indusului pe care curentul se poate deplasa de la o perie de un semn la peria următoare de semn contrar. Dacă notăm cu $2a$ numărul de căi de curent și cu Z numărul de conductoare active ale înfășurării, unei căi de curent îi revin $Z/2a$ conductoare. Căile de curent formează circuite în paralel. Dacă I este curentul care străbate bobinajul indusului, curentul printr-o cale de curent este dat de relația

$$i = \frac{I}{2a}. \tag{4.1.2}$$

După modul de legare a secțiunilor, înfășurările de curent continuu sînt buclate (paralel) și ondulate (serie), arătate schematic în figura 4.1.2.

Înfășurarea în paralel, la care pasul de legătură y_2 este negativ, se folosește la mașinile al căror indus este străbătut de curenți cu intensitate mare. Această înfășurare se folosește și în cazul mașinilor bipolare mici, la care înfășurarea în serie devine identică cu cea în paralel.

Înfășurarea în serie, la care pasul de legătură este pozitiv, se folosește la mașinile cu tensiune de borne mare.

4.1.2. **Funcționarea mașinii de curent continuu.** La trecerea curentului de excitație i_e prin înfășurarea statorului se produce un flux magnetic principal Φ, constant (fig. 4. 1.3).

Scanned with OKEN Scanner

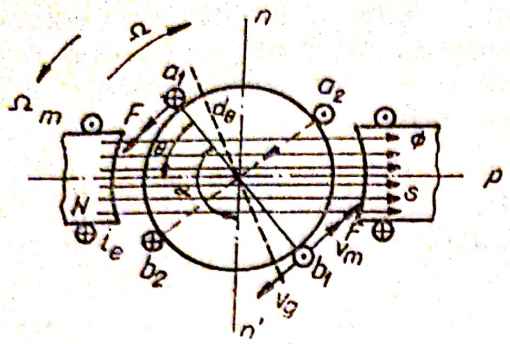


Fig. 4.1.3. Spiră care se roteşte în cîmpul inductorului.

Se consideră o spiră ab de pe rotorul maşinii, care este rotit cu n rotaţii pe minut, în cîmpul Φ al statorului. Viteza unghiulară a spirei este

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ [rad/s]}. \qquad (4.1.3)$$

În spiră se induce o f.e.m. alternativă e, al cărei sens, dat de regula mîinii drepte, se schimbă la trecerea dintr-o parte în alta a axei neutre nn', corespunzător celor două poziţii a_1b_1 şi a_2b_2.

Înfăşurarea indusului este închisă, adică după ce au fost parcurse toate conductoarele active se ajunge la conductorul de plecare.

Forţa electromotoare totală E, care se induce într-o jumătate de bobinaj situat de o parte a axei neutre, este egală cu suma f.e.m. instantanee induse în conductoarele respective:

$$E = \Sigma_e = \Sigma E_m \sin \alpha \qquad (4.1.4)$$

Tensiunile electromotoare induse în cele două jumătăţi de bobinaj ale indusului fiind egale şi opuse, se anulează.

Prin introducerea a două perii în axa neutră, legate la o rezistenţă exterioară R_e, se formează un circuit închis, iar curenţii produşi de f.e.m. din cele două jumătăţi de bobinaj sînt dirijate în circuitul exterior. În felul acesta se obţine la bornele A şi B ale maşinii o f.e.m. constantă.

În cele expuse s-a presupus că maşina fucţionează ca generator.

În cazul funcţionării ca motor, la bornele maşinii se aplică o tensiune U, care produce în indus un curent I.

Dacă sensul curentului este acelaşi ca în cazul generatorului, indusul se roteşte, sub influenţa forţei electromagnetice F a cîmpului, în sens contrar rotaţiei generatorului, conform regulii mîinii stîngi (firgura 4.1.3).

Funcţionarea maşinii de c.c., atît ca motor cît şi ca generator prezintă unele aspecte mai complexe, datorită unor fenomene care nu formează obiectul prezentului curs.

— *reacţia de indus* care constă în suprapunerea cîmpului magnetic, produs de curentul din indus, peste cîmpul magnetic al statorului, ceea ce duce la apariţia unui flux dezvoltat neuniform (distorsionat), astfel încît apar unele fenomene suplimentare.

— *fenomenul comutaţiei*, care constă în apariţia unei f.e.m. de inducţie proprie în spira supusă comutaţiei la trecerea de sub un pol sub polul contrar următor, ceea ce duce la apariţia scînteilor la colector, ceea ce înrăutăţeşte funcţionarea maşinii.

În practică, pentru corectarea neajunsurilor introduse de aceste două fenomene se prevăd poli auxiliari, bobinaje de compensaţie şi dispozitive de rotire a periilor.

Scanned with OKEN Scanner

4.1.3. Ecuaţiile maşinii de curent continuu. *Ecuaţia t.e.m. indusă în bobinajul rotorului.* Se consideră o maşină de curent continuu, al cărei număr de poli este $2p$, numărul conductoarelor pe periferia indusului este Z, numărul conductoarelor legate în serie pe o cale de curent este $Z/2a$, iar turaţia sa este de n rotaţii pe minut. Unei perechi de poli îi corespunde pe periferia indusului un arc de 2π radiani electrici, iar pentru p perechi de poli, arcul este de $2\pi p$.

În timpul unei rotaţii, fluxul prin spira ab (figura 4.1.3.) se schimbă de două ori în cazul unei perechi de poli şi de $2p$ ori în cazul a p perechi de poli. Deci, variaţia totală a fluxului printr-o spiră pe secundă va fi :

$$\frac{\Delta\Phi}{dt} = 2p\,\frac{n}{60}\,\Phi$$

Forţa electromotoare indusă în cele $Z/2a$ conductoare legate în serie este

$$E = 2p\,\frac{n}{60}\cdot\frac{z}{2a}\,\Phi = n\cdot\Phi\,\frac{P}{60}\cdot\frac{Z}{a} = K_e n\Phi \qquad (4.1.5)$$

Mărimea K_e se numeşte constanta tensiunii electromotoare.

Ecuaţia cuplului maşinii de curent continuu. Puterea electromagnetică a unei maşini de curent continuu, care se transformă în putere mecanică, este :

$$P = E\cdot I = (U + R_i I)\,I \qquad (4.1.6)$$

Ea se compune din pierderea de putere electrică în interiorul maşinii $R_i I^2$, datorită rezistenţei ei interioare R_i şi puterea absorbită din reţea UI.

Între cuplul la arbore şi putere există relaţia

$$M = \frac{P}{\Omega} = \frac{EI}{\Omega} \qquad [\mathrm{Nm}] \qquad (4.1.7)$$

în care Ω este viteza de rotaţie a spirei. Înlocuind valorile lui E şi Ω date de relaţiile (4.1.5) şi (4.1.3) se află expresia cuplului de rotire

$$M = \frac{p}{a}\cdot z\cdot\frac{n}{60}\cdot\Phi\,\frac{60}{2\pi n}\,I = \frac{pz}{2\pi a}\cdot I\cdot\Omega = K_m\,\Phi\,I \qquad [Nm] \qquad (4.1.8)$$

Mărimea K_m se numeşte constanta cuplului, iar valoarea ei în funcţie de K_e este :

$$K_m = K_e\,\frac{30}{9{,}81\pi}$$

$$\text{Produsul : } K_e\Phi = \frac{E}{n} = \frac{U + R_i I}{n} \qquad (4.1.9)$$

se poate determina experimental, măsurînd mărimile din partea dreaptă a egalităţii.

Scanned with OKEN Scanner

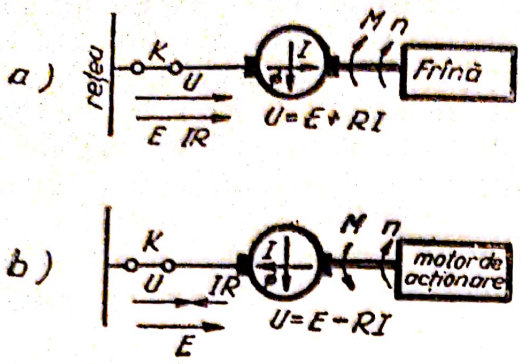


Fig. 4.1.4. Maşina electrică :
a — regim motor ; *b* — regim generator.

În sfîrşit, proprietatea tuturor maşinilor electrice este că pot funcţiona atît în regim generator cît şi în regim motor. Diferenţa dintre cele două regimuri de funcţionare este determinată de sensul curentului (fig. 4.1.4).

La pornire, întrerupătorul K este deschis. Maşina este antrenată de un motor pînă la viteza nominală, cînd $U = E$. În acest moment se închide întrerupătorul. Deoarece tensiunea de alimentare U şi t.e.m. indusă E sînt în opoziţie de fază şi egale, în maşină nu va circula curent, deci sîntem la limita dintre regim generator şi motor. În continuare vom frîna cu motorul de acţionare, astfel că t.e.m. va scădea şi va apărea o diferenţă de tensiune între $U - E$, care produce curentul I care, interacţionînd cu fluxul Φ va produce un cuplu iar maşina va funcţiona ca motor.

Dacă în loc de frînare accelerăm astfel încît diferenţa $U - E$ devine negativă, deci se schimbă şi sensul curentului şi al cuplului, maşina se transformă în generator, încărcînd motorul de acţionare.

Din figura 4.1.4. rezultă caracteristicile celor două regimuri : *regim motor* : tensiunea de alimentare U, curentul I, cuplul M, şi turaţia n au acelaşi sens ;

regim generator : U şi I adică M şi n sînt de sensuri opuse.

Aceste sensuri sînt în strînsă legătură cu transformările energetice care au loc în agregatul motor-generator.

4.2. GENERATORUL DE CURENT CONTINUU

Clasificarea generatoarelor de curent continuu. După modul de obţinere a curentului de excitaţie din stator I_e, care produce fluxul inductor Φ, maşinile de curent continuu sînt cu excitaţie separată sau independentă, la care curentul de excitaţie provine de la o sursă de energie străină (baterie de acumulatoare sau ganeratoare de curent continuu) şi maşini cu excitaţie proprie sau autoexcitaţie, la care curentul de excitaţie se ia de la maşina respectivă. Generatoarele cu autoexcitaţie sînt clasificate în funcţie de modul de conectare al înfăşurării şi de excitaţie astfel :

a) generatoare cu excitaţie separată (fig. 4.2.1. *a*) ;

b) generatoare cu excitaţie derivaţie la care înfăşurarea de excitaţie este legată în paralel cu înfăşurarea indusului (fig. 4.2.1 *b*)

c) generatoare cu excitaţie serie, la care înfăşurarea de excitaţie este legată în serie cu cea a indusului şi este parcursă de curentul principal al maşinii (figura 4.2.1. *c*)

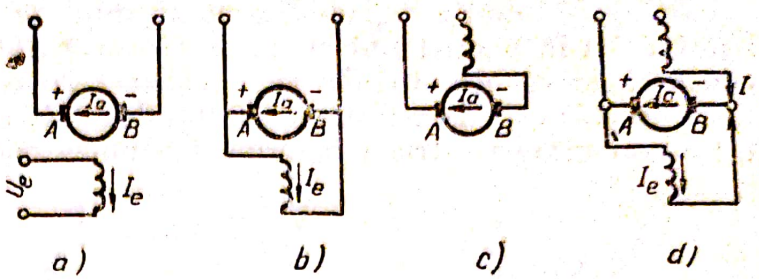


Fig. 4.2.1. Schema principială a generatoarelor de curent continuu.

d) generatoare cu excitație compound, care au două înfășurări de excitație, una derivație și cealaltă serie (figura 4.2.1. *d*).

Tensiunea electromotoare indusă în generator este dată de relația:

$$E = U + R_a I_a = K_e \Phi n$$

din care rezultă tensiunea produsă la bornele generatorului

$$U = E - R_a I_a \qquad (4.2.1)$$

În această ecuație, E reprezintă t.e.m., I_a curentul de sarcină și R_a rezistența indusului.

Caracteristicile de funcționare ale generatorului de curent continuu. Pentru a se determina particularitățile de funcționare ale unei mașini electrice este necesar să se cunoască relațiile ce există între diferitele sale mărimi electrice și magnetice. Exprimate grafic aceste relații se numesc caracteristici de funcționare.

Experimental, caracteristicile se ridică supunînd mașina unor încercări la platforma de încercare.

Principalele caracteristici ale generatorului de c.c. sînt:

a) Caracteristica de mers în gol: reprezintă relația $E_0 = f(i_e)$ (tab. 4.2.1), pentru n = ct. și $I = 0$. Prin mersul în gol al unui generator se înțelege funcționarea lui cu bornele AB deschise. Tensiunea la bornele lui, practic este egală cu t.e.m. E.

b) Caracteristica de sarcină: reprezintă relația $U = f(i_e)$ pentru n = constant și I = ct. (curbele din tabela 4.2.1, cu variația similară la toate cele patru tipuri de generatoare).

c) Caracteristica externă: reprezintă relația $U = f(I)$, pentru n = ct și i_e = ct.

În tabela 4.2.1/1 sînt date caracteristicile exterioare ale generatoarelor.

d) Caracteristica de reglare reprezintă relația $i_e = f(I)$, pentru n = constant și U = constant. În tabela 4.2.1/1 sînt date caracteristicile de reglare în afară de ale generatorului serie, puțin folosit în practică.

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristicile de reglare a generatorului cu excitaţie separată şi a generatorului în paralel sînt similare, ultima avînd o creştere mai mare, din cauză că în generatorul derivaţie căderea de tensiune interioară este mai mare decît la cel cu excitaţie separată, deci este nevoie de un curent de excitaţie mai mare pentru a menţine tensiunea constantă.

Tabela 4.2.1

Caracteristicile maşinilor de curent continuu

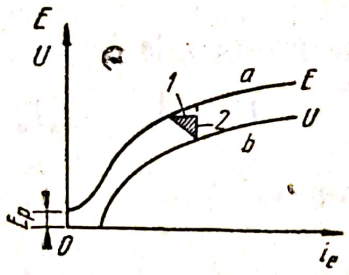
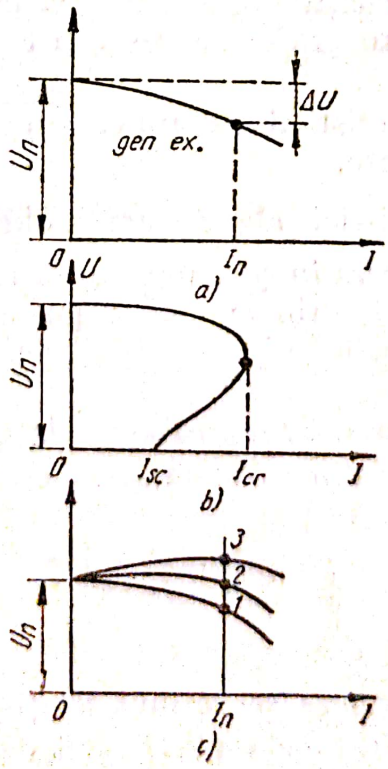
Nr. crt.	Denumirea	Reprezentare	Observaţii
0	1	2	3
1	Caracteristicile generatorului de curent continuu		*a* — caracteristica de mers în gol; *b* — caracteristica de sarcină; *1* — căderea de tensiune interioară; *2* — scăderea datorită reacţiei indusului
			Caracteristica externă a generatorului: *a* — cu excitaţia separată b — paralel; *c* — compound

Tabela 4.2.1 (continuare)

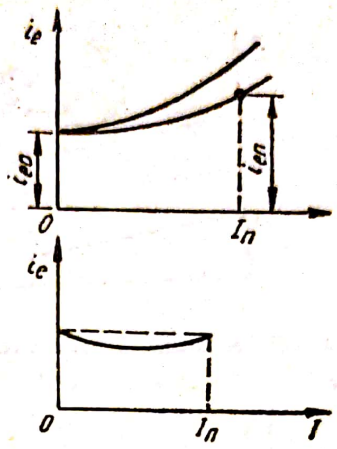
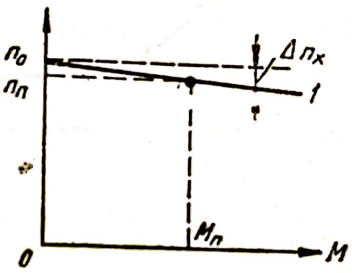
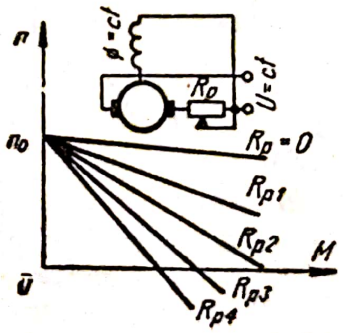
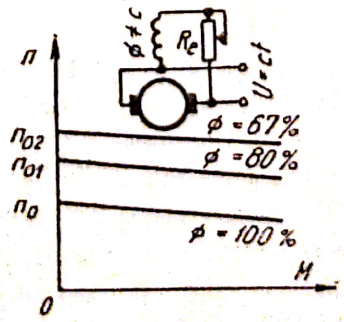
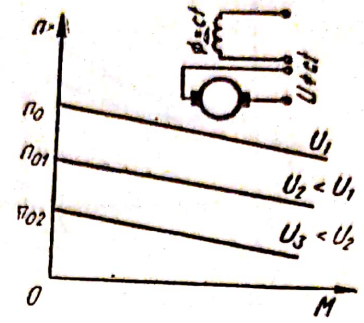
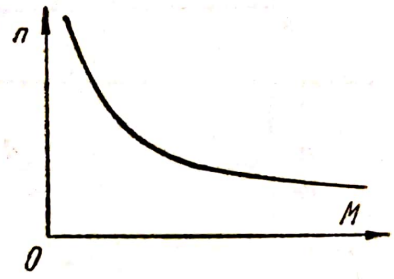
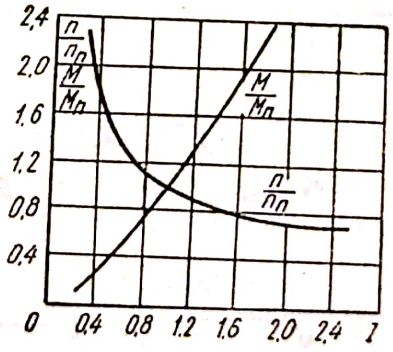
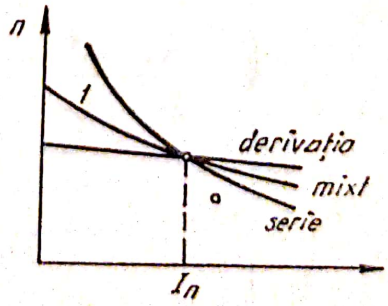
0	1	2	3
			Caracteristica de reglare a generatorului: *a* — cu excitație separată și în paralel; *b* — mixtă
2	Caracteristicile motoarelor de curent continuu		Caracteristica mecanică a motorului derivație
			Caracteristicile mecanice ale motorului derivație, pentru diferite rezistențe în circuitul rotorului
			Caracteristicile mecanice ale motorului derivație prin variația fluxului de excitație

Tabela 4.2.1 (continuare)

0	1	2	3
			Caracteristicile mecanice ale motorului derivaţie pentru diferite tensiuni de alimentare
			Caracteristica mecanică a motorului serie
			Caracteristicile universale ale motoarelor tip
			Caracteristica mecanică a motorului compound

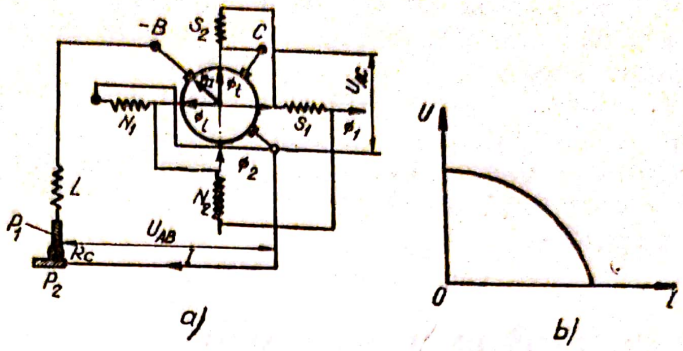


Fig. 4.2.2.
a — schema de principiu a generatorului de sudură; *b* — caracteristica exterioară.

Generatoarele compound sînt cele mai utilizate generatoare de curent continuu, în reţelele cu tensiunea constantă a căror sarcină variază brusc şi des.

În construcţii, generatoarele de curent continu se folosesc pentru alimentarea motoarelor electrice de curent continuu, folosite la acţionarea unor utilaje (de exemplu, excavatoare de mare capacitate), la încărcarea acumulatoarelor electrice prevăzute la iluminatul de siguranţă, la autovehicule şi ca generator în anumite grupuri electrogene.

Unele dintre aceste generatoare sînt de construcţie specială destinate unor domenii speciale de utilizare, ca de exemplu generatorul pentru iluminarea autovehiculelor şi încărcarea acumulatoarelor acestora.

Dintre acestea se va prezenta generatorul pentru sudură.

Generatorul de curent continuu pentru sudură cu arc. În timpul sudurii electrice cu arc, distanţa dintre electrozi variază, ceea ce are ca urmare o variaţie importantă a rezistenţei arcului electric, tensiunea de borne a generatorului trebuind să scadă şi ea. Totodată, generatorul trebuie să funcţioneze în condiţii bune în regimul de scurtcircuit, care apare la aprinderea arcului, cînd electrodul şi piesa sînt puse în contact direct.

În figura 4.2.2. este dată schema de principiu a generatorului şi caracteristica sa exterioară, care este foarte înclinată.

Statorul generatorului are o pereche de poli principali N_1S_1, care funcţionează nesaturaţi la orice sarcină şi o pereche de poli suplimentari N_2S_2, care funcţionează tot timpul saturaţi.

Indusul este de construcţie normală, iar maşina este antrenată cu viteză constantă de un motor primar.

Generatorul are două perii principale A, B şi o perie auxiliară C. Bobinele de excitaţie ale celor patru poli sînt legate în serie, iar circuitul astfel format se leagă între periile A şi C.

La funcţionarea în sarcină apare fluxul de reacţie a indusului Φ_a a cărui direcţie este dată de axa periilor principale. Acest flux se poate descompune în componenta Φ_t, opusă fluxului Φ_1, produs de polii principali, pe care îl slăbeşte, şi componenta Φ_t, avînd acelaşi sens cu fluxul Φ_2, produs de polii suplimentari, asupra căruia nu are influenţă, deoarece polii sînt saturaţi.

La micşorarea rezistenţei arcului electric, curentul I creşte, iar componenta Φ_t a fluxului de reacţie micşorează mult fluxul Φ_1, ceea ce produce o scădere bruscă a f.e.m. induse în rotor, deci a tensiunii U_{AB}.

Tensiunea U_{AC} aplicată circuitului de excitaţie nu se schimbă la variaţia curentului I, deoarece această porţiune a indusului este supusă influenţei fluxului polilor suplimentari, a cărui valoare, independent de sarcină, rămîne constantă pentru o anumită poziţie a periei auxiliare faţă de peria principală A.

4.3. MOTORUL DE CURENT CONTINUU

Generalităţi. Maşina de curent continuu, funcţionînd ca motor, transformă energia electrică în energie mecanică, ce o dă maşinii de lucru pe care o antrenează.

Ca şi la generatoare, se deosebesc următoarele tipuri de motoare, în funcţie de modul de conectare a înfăşurării de excitaţie cu indusul: a) cu excitaţie derivaţie; b) cu excitaţie serie; c) cu excitaţie compund; d) cu excitaţie separată.

4.3.1. **Motorul de curent continuu derivaţie.** Caracteristicile mecaniee. În figura 4.3.1 este reprezentată schema de conectare a motorului: AB sînt înfăşurările rotorice, CD bornele înfăşurării de excitaţie, R_p este reostatul de pornire iar R_e este reostatul de excitaţie sau de cîmp.

Expresia analitică a caracteristicii mecanice naturale a motorului derivaţie de curent continuu, se poate deduce din relaţiile determinate în teoria maşinilor în unele ipoteze simplificatoare. Presupunînd că forma caracteristicii nu depinde de reacţia indusului, iar fluxul de scăpări şi rezistenţa indusului sînt constante, avem

$$M = K_m \cdot \Phi \cdot I_a \tag{4.3.1}$$

$$E = K_e \cdot \Phi \cdot n \tag{4.3.2}$$

$$U = E + R_a \cdot I_a \tag{4.3.3}$$

în care: Φ — este fluxul util în întrefier; I_a — curentul în indus, în Amperi E — tensiunea electromotoare din indus în V; R_a —rezistenţa bobinajului indusului în ohmi.

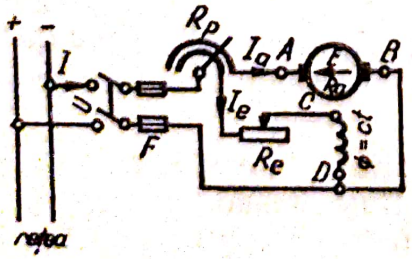


Fig. 4.3.1. Schema motorului de curent continuu derivaţie.

Din relaţia (4.3.3) se obţine:

$$I_a = \frac{U - E}{R_a}. \tag{4.3.4}$$

Rezolvînd ecuaţiile (4.3.2) şi (4.3.3) în raport cu turaţia n, se obţine relaţia:

$$n = \frac{U - IR_a}{K_e \Phi}. \tag{4.3.5}$$

Substituind în ecuaţia (4.3.5) expresia curentului I din ecuaţia (4.3.1) se obţine ecuaţia caracteristicii mecanice naturale

$$n = \frac{U}{K_e - \Phi} - \frac{R_a}{K_e K_m \Phi^2} M \cdot \tag{4.3.6}$$

Pentru motoarele de curent continuu derivaţie sau cu excitaţie separată, fluxul magnetic poate fi considerat constant, deci

$$n = \frac{U}{C_e} - \frac{R_a}{C_e C_m} M \tag{4.3.7.}$$

în care: $C_e = K_e$ este constanta t.e.m. a maşinii; $C_m = K_m \Phi$ — constanta cuplului electromagnetic.

La mersul în gol al motorului, deci cînd $M = 0$, se obţine

$$n_0 = \frac{U}{K_e \Phi} = \frac{U}{C_e} \cdot \tag{4.3.8.}$$

Din viteza de mers în gol se scade o cantitate direct proporţională cu M pe care o vom nota cu

$$\Delta n = \frac{I_a R_a}{C_a} \quad \text{sau} \quad \Delta n = \frac{R_a}{C_e C_m} M.$$

Ecuaţia caracteristicii poate fi pusă sub forma

$$n = n_0 - \Delta n \tag{4.3.9.}$$

Din această expresie rezultă că la motorul derivaţie, caracteristica mecanică se reprezintă printr-o dreaptă (dreapta 1, tabela 4.2.1) care intersectează axa ordonatelor într-un punct de ordonată n_0 şi este înclinată faţă de axa absciselor, pentru o încărcare I cu Δn corespunzător.

Pentru determinarea dreptei este comod să se folosească punctele

$$M = 0, \quad n = n_0 \quad \text{şi} \quad M = M_n, \quad n = n_n.$$

Dacă prin intermediul reostatului R_p (figura 4.3.1.) se măreşte rezistenţa R_a a circuitului indusului motorului, atunci în expresia (4.3.9.) creşte Δn şi odată cu aceasta înclinarea caracteristicii.

4.3.1.1. *Pornirea motoarelor de curent continuu derivaţie.* Curentul absorbit din reţea de indusul motorului se determină cu expresia

$$I = \frac{U - E}{R_a} \cdot \tag{4.3.10}$$

Tensiunea electromotoare E se induce în bobinajul rotorului, la rotirea lui în cîmpul inductor, produs de stator. Expresia ei este:

$$E = B \cdot Z \cdot v \tag{4.3.11}$$

Scanned with OKEN Scanner

Ea are sens opus tensiunii de alimentare U şi din acest motiv se numeşte tensiune contraelectromotoare.

La pornire, rotorul fiind în repaus, t.c.e.m. este egală cu zero, astfel că în indus, a cărui rezistenţă interioară R_a este mică, apare un curent de pornire $I_p = (10 \ldots 30)\ I_n$, periculos pentru maşină. Pentru a micşora curentul de pornire, se leagă în serie cu indusul o rezistenţă de pornire R_s, variabilă, care limitează curentul de pornire, conform relaţiei

$$I_{p\,max} = \frac{U}{R_a + R_s} = (1{,}5 \ldots 2{,}5)\ I_n \qquad (4.3.12)$$

în care I_n este curentul nominal al motorului.

T.c.e.m. E indusă în rotor creşte pe măsură ce creşte turaţia lui. Prin reducerea treptată a valorii rezistenţei reostatului de pornire pînă la valoarea zero, turaţia creşte pînă la valoarea nominală, t.c.e.m. ajunge la valoarea corespunzătoare turaţiei nominale, iar curentul din rotor va avea valoarea nominală dată de relaţia 4.3.10.

Valoarea maximă a reostatului de pornire se calculează din relaţia

$$R_{s\,max} = \frac{U - R_a I_{p\,max}}{I_{p\,max}} = \frac{U}{I_{p\,max}} - R_a. \qquad (4.3.13)$$

Din relaţia (4.3.10) se vede că micşorarea curentului de pornire se mai poate realiza prin aplicarea unei tensiuni variabile, dată de un generator.

4.3.1.2. *Reglajul turaţiei motoarelor de curent continuu derivaţie.* Turaţia motoarelor de curent continuu este dată, aşa cum s-a arătat mai sus, de formula

$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_a I_a}{K_e \Phi} = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_a M}{K_e K_m \Phi^2}. \qquad (4.3.14)$$

Din această formulă rezultă că turaţia poate fi modificată prin trei metode :

a) prin variaţia rezistenţei R_a din circuitul indusului ;
b) prin variaţia fluxului magnetic Φ ;
c) prin variaţia tensiunii U aplicate motorului.

La prima metodă se poate folosi reostatul de pornire dacă este potrivit dimensionat. Înclinaţia caracteristicii artificiale $n = f(M)$, faţă de axa M este cu atît mai mare, cu cît valoarea rezistenţei înseriate este mai mare (tab. 4.2.1.). Această metodă de reglare a turaţiei se foloseşte rar, deoarece ea este extrem de neeconomică.

Reglajul se face la un cuplu constant, căci fluxul inductorului este constant şi egal cu cel nominal

$$M = K_m \Phi_n I_n = M_n.$$

Reglarea turaţiei prin variaţia fluxului magnetic este folosită pe scară largă. Valoarea fluxului poate fi modificată cu ajutorul reostatului de excitaţie R_a (fig. 4.3.1). În cazul cînd rezistenţa acestui reostat creşte,

Scanned with OKEN Scanner

curentul de excitaţie şi fluxul magnetic se micşorează şi, conform formulei (4.3.14), turaţia creşte. Caracteristicile artificiale obţinute prin variaţia fluxului sînt arătate în tabela 4.2.1.

Această metodă de reglaj a turaţiei implică pierderi foarte mici, deoarece curentul care trece prin bobinajul de excitaţie este foarte mic în comparaţie cu curentul indusului. Această reglare se poate realiza chiar la puterea maximă admisibilă constantă.

Reglajul vitezei prin *variaţia tensiunii* de alimentare se foloseşte pentru micşorarea turaţiei motorului sub cea nominală. Pentru motoarele cu excitaţie separată, tensiunea nu influenţează rigiditatea caracteristicii, deoarece căderea de viteză Δn nu depinde de U. La motoarele derivaţiei fluxul inductor variază în acelaşi sens cu tensiunea deci în sens invers cu ea, va varia căderea de viteză.

Forma caracteristicilor artificiale obţinute prin variaţia tensiunii de alimentare este dată în tabela 4.2.1.

4.3.1.3. *Frînarea motoarelor de curent continuu derivaţie.* Motoarele electrice posedă o însuşire pe care nu o au motoarele de altă natură şi anume, aceea că ele pot funcţiona ca frînă, şi în special, ca frînă cu recuperare de energie. Există următoarele metode de frînare:

a) metoda frînării ca generator, cu recuperare, adică cu restituirea energiei în reţea

b) metoda prin contracurent (contraconectare)

c) frînare dinamică (reostatică)

Regimul de frînare ca generator cu recuperare se întîlneşte în tracţiunea electrică sau la mecanismele de ridicat cînd sarcina imprimă motorului de antrenare o viteză superioară celei de mers în gol

$$E = C_e n \quad \text{şi} \quad U = C_e n_0$$

dacă $n > n_0$, rezultă $E > U$ şi deci

$$I = \frac{U - E}{R} < 0. \tag{4.3.15}$$

Schimbîndu-se sensul curentului, se va schimba şi sensul cuplului, care dintr-un cuplu activ, se transformă în cuplu de frînare a sarcinii.

Ecuaţia caracteristicii mecanice devine

$$n = \frac{U}{C_e} + \frac{IR_a}{C_e} = n_0 + \frac{IR_a}{C_e} = n_0 + \frac{MR_a}{C_e C_m}. \tag{4.3.16}$$

Caracteristica mecanică este prelungită în cadranul II a caracteristicii motorului (figura 4.3.2)

Aceasta reprezintă cea mai economică metodă de frînare, dar nu se poate aplica decît la turaţii mai mari decît n_0, deci cu ajutorul ei nu se poate opri.

Scanned with OKEN Scanner

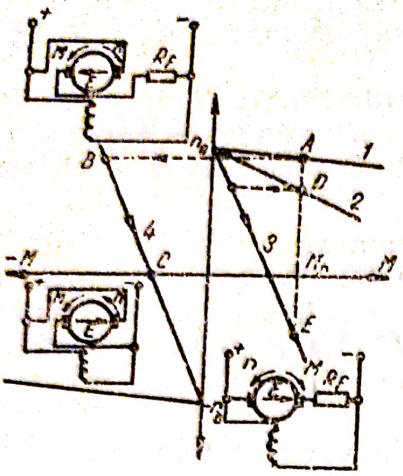


Fig. 4.3.2. Caracteristicile mecanice ale motorului derivaţie la frînarea prin contra conectare.

Frînarea prin contraconectare se caracterizează prin aceea că în motor, atît energia cinetică a maselor, cît şi energia de alimentare se transformă în căldură. Există două posibilităţi de a obţine regimul de cuplare inversă:

1) Schimbarea polarităţii indusului sau a excitaţiei în timp ce motorul se roteşte (caracteristica 4, fig. 4.3.2)

2) Mărirea cuplului rezistent peste valoarea cuplului motor, care va antrena motorul în sens invers (caracteristica 3 fig. 4.3.2).

— Sensul curentului se schimbă, cuplul motor tinde să inverseze sensul de rotaţie al motorului, astfel încît acesta îşi micşorează viteza pînă la zero. Sensul tensiunii se schimbă, sensul t.e.m. rămînînd acelaşi:

$$-U = E - RI = C_e n - RI \text{ de unde}$$

$$n = -\frac{-U}{C_e} + \frac{RI}{C_e} = -n_0 + \frac{RI}{C_e}. \qquad (4.3.17)$$

Expresia analitică a caracteristicii în regim de cuplare inversă arată că aceasta este simetrică faţă de origine (caracteristica 4 fig. 4.3.2). În cazul cuplării inverse, datorită valorii mari a curentului $I_c = \frac{U+E}{R}$ se folosesc întotdeauna rezistenţe suplimentare R_f, în circuitul indusului.

Această metodă se realizează prin introducerea de rezistenţe în circuitul rotorului astfel încît să se mărească înclinaţia caracteristicilor $n = f(M)$, pînă ce punctul de funcţionare este deplasat în domeniul turaţiilor negative.

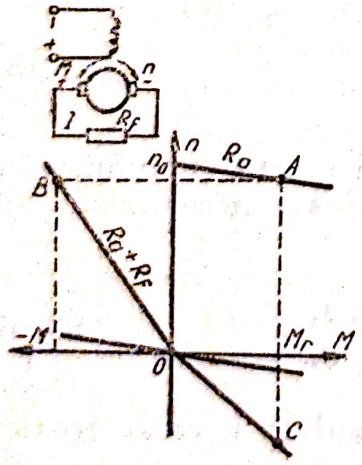


Fig. 4.3.3. Caracteristicile mecanice ale motorului derivaţie la frînarea dinamică.

Frînarea dinamică se realizează atunci cînd motorul electric, deconectat de la reţea şi antrenat de masele în mişcare, debitează ca generator pe o rezistenţă conectată la bornele sale (fig. 4.3.3.).

La trecerea din regim motor în regim generator, sensul mişcării rămînînd neschimbat, sensul de circulaţie al curentului se schimbă, ceea ce face ca sensul cuplului să se schimbe.

Dacă $U = 0$, $n_0 = 0$ avem

$$n = \frac{-M_f(R_a + R_f)}{C_e C_m} \text{ de unde } -M_f = \frac{C_e C_m}{R_a + R_f} n. \qquad (4.3.18)$$

Din această ecuaţie se observă că maşina dezvoltă la aceeaşi viteză un cuplu de frînare negativ, cu atît mai mare cu cît rezistenţa din circuit este mai mică.

În practică, pentru acţionările nereversibile se aplică frînarea dinamică, iar pentru cele reversibile frînarea prin contracurent.

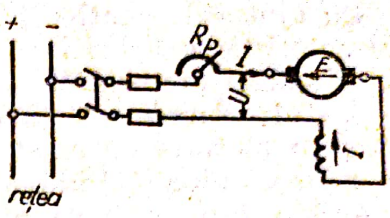


Fig. 4.3.4. Schema motorului de curent continuu serie.

4.3.2. **Motorul cu excitaţie serie. Caracteristicile mecanice.** Schema de conexiuni a unui motor serie este redată în figura 4.3.4. Înfăşurarea indusului şi cea de excitaţie sînt parcurse de aceiaşi curenţi, de aceea fluxul motorului este o mărime variabilă, depinzînd de curentul de sarcină şi deci de cuplul rezistent, la axul lui, aceasta reprezentînd o particularitate a sa. Expresia analitică a caracteristicii mecanice, pe baza relaţiei dintre curent şi flux, este greu de stabilit.

Caracteristica mecanică se poate exprima analitic numai într-un singur caz, pentru $\Phi \cong I$ la pornire:

$$M = K_m \Phi I^2 = K'_m I^2 \quad \text{de unde} \quad I = K''_m \sqrt{M} \tag{4.3 19}$$

$$n = \frac{U - IR_a}{K_e \Phi} = \frac{U - IR_a}{K_e I} = K' \frac{U}{\sqrt{M}} - b = \frac{a}{\sqrt{M}} - b \tag{4.3.20}$$

Se vede că la motorul nesaturat cu excitaţie serie, caracteristica mecanică este o hiperbolă (tab. 4.2.1/2).

Din relaţiile de mai sus, rezultă că motorul serie are un cuplu iniţial mare şi turaţie mică, de aceea se foloseşte la macarale, excavatoare, în tracţiunea electrică, avînd totodată proprietatea de a-şi modifica turaţia în funcţie de sarcină: cînd sarcina creşte, turaţia scade, iar cuplul creşte.

Unul din dezavantajele motorului serie îl constituie posibilitatea ambalării lui la mers în gol. adică a creşterii excesive a turaţiei, cînd motorul nu este încărcat, ceea ce poate produce defectarea rotorului, datorită forţei centrifuge. Din acest motiv motorul serie nu se porneşte în gol, ci la o sarcină minimă de 20—25% din sarcina nominală.

Din caracteristicile universale date pentru acelaşi tip constructiv, construite în unităţi relative (tab. 4.2.1/2) se pot construi caracteristicile mecanice în valori absolute pentru orice motor din seria respectivă, cunoscînd curentul nominal al motorului, viteza sa nominală şi cuplul nominal.

Caracteristica limită este reprezentarea grafică a funcţiei $n = f(I)$ în cazul cînd rezistenţa indusului este considerată nulă ($R_a = 0$). Ea rezultă din relaţia (4.3.20), pentru $R_a = 0$ şi $K_e\Phi = \frac{n}{U - IR}$

$$n_l = \frac{U}{K_e \Phi} \tag{4.3.21}$$

$$n_l = \frac{U}{U - IR_a} n \tag{4.3.22}$$

Cu ajutorul ecuaţiei 4.3.21 şi a caracteristicii limită se pot determina caracteristicile artificiale pentru diferite valori ale rezistenţei R înseriate în circuitul motorului.

4.3.2.1. *Pornirea motorului serie.* Pentru limitarea curentului de pornire, ca şi la motorul cu excitaţie derivaţie, se folosesc rezistenţe suplimentare în serie cu circuitul indusului care se deconectează treptat.

Aceste rezistenţe se aleg astfel încît la pornire curentul absorbit de motor să nu depăşească de 2—2,5 ori curentul nominal.

$$I_{max} = \frac{U}{R + R_s} = (2 \ldots 2{,}5)\, I_n \qquad (4.3.23)$$

4.3.2.2. *Reglajul turaţiei motorului serie.* Motoarele serie se pot regla prin variaţia tensiunii de alimentare (fig. 4.3.5), variaţia rezistenţei din circuitul indusului (fig. 4.3.7) şi variaţia fluxului inductor (fig. 4.3.6).

Reglajul vitezei prin variaţia tensiunii de alimentare se foloseşte destul de mult în tracţiunea electrică, prin conectarea motoarelor în serie şi paralel.

Viteza motoarelor serie se poate regla cu ajutorul rezistenţelor numai în sensul coborîrii vitezei, cînd rigiditatea scade mult, iar pierderile de energie cresc.

Variaţia fluxului inductor se poate realiza prin şuntarea excitaţiei sau prin micşorarea numărului de spire ale înfăşurării de excitaţie.

4.3.2.3. *Frînarea motorului serie. a) Frînarea prin recuperare.* Frînarea în regim generator prezintă serioase dificultăţi, necesitînd un aparataj relativ scump. La micşorarea sarcinii viteza creşte foarte mult, încît există o discontinuitate între regimurile de funcţionare ca motor şi ca generator. Se aplică în tracţiune pe pante lungi.

b) Frînare prin contracurent. Se caracterizează prin aceea că tensiunea indusă şi tensiunea la bornele motorului au acelaşi sens. Ca urmare se poate scrie:

$$U + E = I(R_a + R_s) = U + K_e\, \Phi n$$

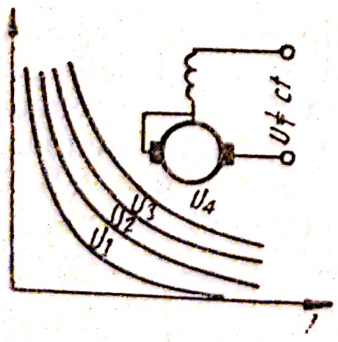


Fig. 4.3.5. Caracteristicile mecanice ale motorului de curent continuu serie pentru diferite tensiuni de alimentare.

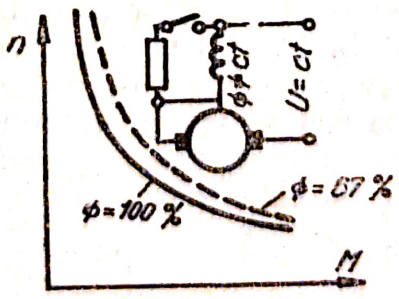


Fig. 4.3.6. Caracteristicile mecanice ale motorului de curent continuu serie prin variaţia fluxului de excitaţie.

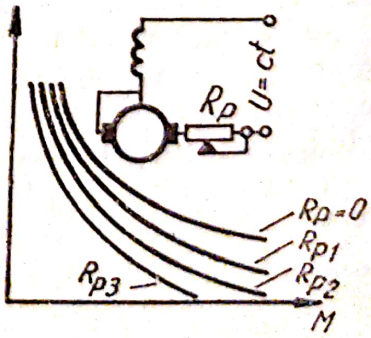


Fig. 4.3.7. Caracteristicile mecanice ale motorului de curent continuu serie pentru diferite rezistenţe în circuitul rotorului.

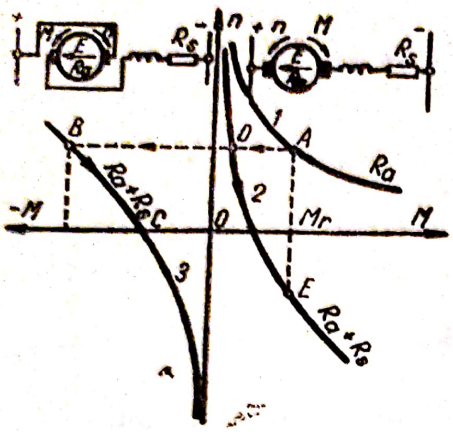


Fig. 4.3.8. Caracteristicile mecanice ale motoarelor de curent continuu serie la pornirea prin contraconectare.

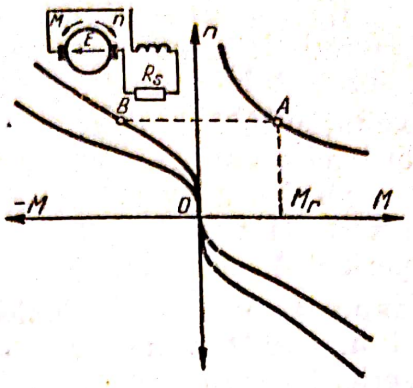


Fig. 4.3.9. Caracteristicile mecanice ale motoarelor de curent continuu serie la frînare dinamică; Metoda I.

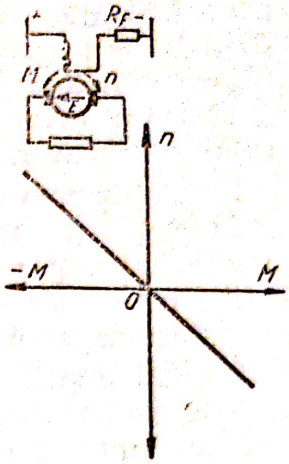


Fig. 4.3.10. Caracteristica mecanică a motorului de curent cintinuu serie la frînarea dinamică; Metoda II.

Frînarea prin contracurent la motorul de c.c. cu excitaţie în serie, se realizează prin metode asemănătoare cu cele arătate la motorul de curent continuu cu excitaţie în paralel.

Schimbarea polarităţii indusului în timp ce motorul se roteşte trecînd de pe caracteristica naturală 1 din punctul A în B pe caracteristica 3 (fig. 4.3.8) produce schimbarea sensului curentului astfel încît cuplul tinde să micşoreze viteza motorului.

Metoda a doua se realizează prin introducerea rezistenţei R_S în circuitul rotorului trecînd din punctul de funcţionare A în D pe caracteristica 2 (fig. 4.3.7). Cuplul rezistent fiind mai mare decît cuplul motor, încît motorul se va frîna; acest caz se întîlneşte la maşinile de ridicat.

c) Frînarea dinamică. Se folosesc două metode:

1 — Se realizează după schema de funcţionare ca generator cu autoexcitaţie a motorului serie (fig. 4.3.9).

Maşina electrică fiind antrenată, funcţionează ca generator, debitînd pe rezistenţa exterioară R. Turaţia maşinii de lucru se micşorează sub influenţa cuplului dezvoltat.

2 — Frînarea reostatică se poate realiza legînd excitaţia motorului, printr-o rezistenţă, la sursa exterioară (fig. 4.3.10).

Maşina se comportă în acest caz ca un motor cu excitaţie derivaţie.

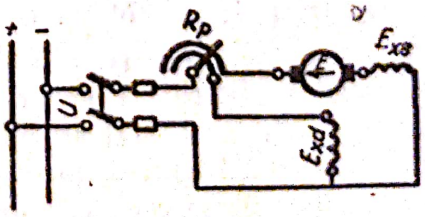


Fig. 4.3.11. Schema motorului de curent continuu compound.

4.3.3. **Motorul compound.** Motorul compound de curent continuu este prevăzut cu

două înfăşurări de excitaţie: una în derivaţie şi una în serie cu indusul (fig. 4.3.11).

Caracteristica $n = f(M)$ a acestui motor, reprezentată prin curba 1, se situează între caracteristicile motorului cu excitaţie în paralel şi a motorului cu excitaţie serie (tab. 4.2.1/2).

Prin utilizarea excitaţiei mixte, acest motor îmbină calităţile motoarelor serie cu cele ale motoarelor paralel. Datorită excitaţiei serie, motorul compound are cuplu de pornire mare, iar excitaţia derivaţie atenuează oscilaţiile bruşte ale turaţiei la variaţia sarcinii şi permite descărcarea totală a motorului, fără pericol de ambalaj.

Alegînd diferite rapoarte între cele două înfăşurări de excitaţie se pot obţine caracteristici mai apropriate de cele ale motorului derivaţie sau cele ale motorului serie. La fel ca în cazul motoarelor serie, caracteristicile artificiale nu pot fi exprimate analitic.

4.4. TRANSFORMATOARE ELECTRICE

Construcţia şi principiul de funcţionare. Transformatorul poate fi considerat şi ea o maşină electrică statică, în care are loc transformarea energiei electrice de la tensiunea U_1 şi curentul I_1, la tensiunea U_2 şi curentul I_2, frecvenţa rămînînd aceaşi. Transformarea este posibilă în curent alternativ, fiind bazată pe fenomenul inducţiei electromagnetice.

În esenţă, un transformator constă dintr-un miez de fier pe care sînt fixate două (uneori cîteva) înfăşurări izolate una de alta şi faţă de miezul de fier. Înfăşurarea care primeşte energia de la sursă se numeşte înfăşurare primară, cealaltă care cedează energie unei reţele sau unui circuit local, înfăşurare secundară. După numărul lor de faze, transformatoarele pot fi monofazate sau polifazate; cel mai adesea ele sînt trifazate.

După felul cum este aşezat fierul sistemului magnetic faţă de înfăşurări, se deosebesc două tipuri constructive: *transformatoare cu coloane*, la care înfăşurările cuprind pe de-a întregul fierul transformatorului şi *transformatoare în manta*, la care fierul cuprinde parţial înfăşurările.

La tipul cu coloane (fig. 4.4.1 şi 4.4.2) miezurile sînt aşezate vertical între juguri şi au forma unor coloane. La cele în manta (fig. 4.4.3) există un miez median, pe care sînt aşezate înfăşurările şi jugurile laterale care cuprind înfăşurările ca o manta.

Înfăşurările se execută din conductoare de cupru electrolitic sau aluminiu izolate între ele şi izolate faţă de miez. Numărul de spire ale înfăşurărilor primare w_1 şi secundare ω_2 se fixează în funcţie de tensiunea nominală a transformatorului şi de raportul de transformare. Pentru a realiza un cuplaj magnetic cît mai strîns între cele două înfăşurări, pe aceeaşi coloană a transformatorului se plasează atît înfăşurarea de joasă (JT) cît şi înfăşurarea de înaltă tensiune (I · T).

Scanned with OKEN Scanner

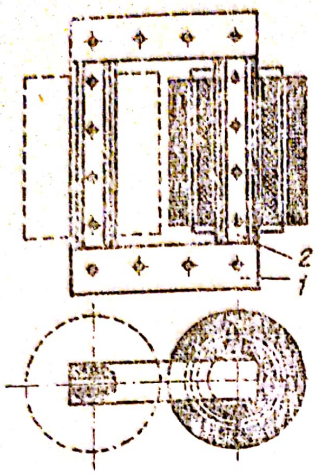


Fig. 4.4.1. Miezul transformatorului monofazat cu înfăşurări concentrice.

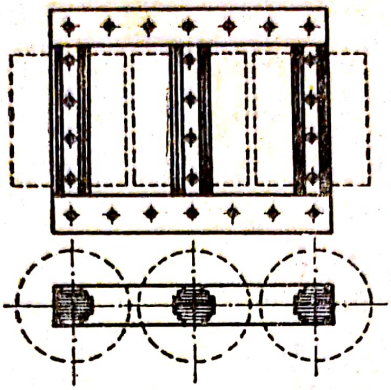


Fig. 4.4.2. Miezul transformatorului trifazat cu trei coloane.

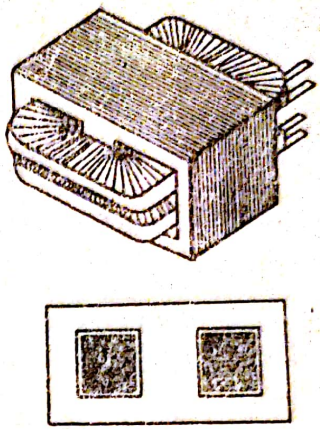


Fig. 4.4.3. Miezul transformatorului monofazat în manta cu înfăşurări alternante.

Transformatorul ridică sau coboară tensiunea cu care este alimentat primarul său. Cînd $U_1 < U_2$ transformatorul este ridicător de tensiune, iar cînd $U_1 > U_2$ este coborîtor de tensiune.

4.4.1. Transformatorul monofazat. T.e.m. indusă în bobinaj. Dacă se aplică transformatorului tensiunea primară U_1, alternativă, în primar se produce curentul I_1, care dă naştere fluxului alternativ Φ_1, ale cărui linii de cîmp închizîndu-se prin miezul de fier, străbat suprafaţa limitată de spirele bobinei secundare, în care induc t.e.m. E_2. Dacă circuitul secundar este închis, adică este legat la un circuit exterior prin impedanţa z, T.e.m. E_2 produce în el un curent I_2. Acest curent produce un flux Φ_2, care conform legii lui Lenz se opune cauzei primare care l-a produs, fiind de sens contrar lui Φ_1.

Avînd în vedere că la transferul de putere din primar în secundar, care se face prin cuplaj magnetic, apar o serie de pierderi de natură electrică şi magnetică, fluxul Φ_2 va fi mai mic decît Φ_1. Diferenţa celor două fluxuri constituie fluxul principal al transformatorului, fiind practic egal cu fluxul Φ_0, produs de curentul primar la mersul în gol al transformatorului (fig. 4.4.4).

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi_m \sin \omega t \quad (4.4.1)$$

Valoarea fluxului principal este practic constantă cu sarcina, deoarece unei creşteri a fluxului primar îi corespunde o creştere a fluxului secundar, astfel că diferenţa lor nu se schimbă. Pentru a fi îndeplinită această condiţie, miezul de fier al transformatorului trebuie să fie nesaturat.

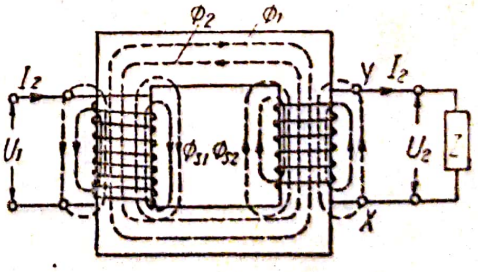


Fig. 4.4.4. Fluxurile produse de curenţii din înfăşurările transformatorului.

Valoarea instantanee a t.e.m. induse în înfăşurarea primară de fluxul variabil Φ este

$$e_1 = -\omega_1 \frac{d\Phi}{dt} = -\omega_1 \Phi_m \omega \cos \omega t = \omega_1 \Phi_m \omega \sin (\omega t - 90°) \quad (4.4.2)$$

Dacă se notează

$$\omega_1 \Phi_m \omega = E_{1m} \quad (4.4.3)$$

t.e.m. indusă în primarul transformatorului este

$$e_1 = E_{1m} \sin (\omega t - 90°) \quad (4.4.4)$$

ea fiind defazată cu 90° în urma fluxului care o produce.

T.e.m. efectivă indusă în primar are valoarea

$$E_1 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\omega_1 \Phi_m \omega}{\sqrt{2}} = \frac{\omega_1 \Phi_m 2\pi f}{\sqrt{2}} = 4{,}44 f \omega_1 \Phi_m \quad (4.4.5)$$

În mod analog se obţine valoarea t.e.m. efectivă din secundar

$$E_2 = 4{,}44 f \cdot \omega_2 \cdot \Phi_m \quad (4.4.6)$$

În funcţie de valoarea impedanţei Z din circuitul exterior, conectat la secundarul transformatorului, acesta poate avea următoarele regimuri de funcţionare: în sarcină, în gol şi în scurtcircuit (fig. (4.4.5 a, b şi c).

a) Funcţionarea transformatorului în sarcină. Regimul normal defuncţionare al transformatorului reprezintă regimul de funcţionare în sarcină, cînd înfăşurării primare i se aplică tensiunea U_1 a reţelei de alimentare, iar secundarul, avînd tensiunea de borne U_2, este legat la reţeaua cu impedanţa Z_2, alimentată de transformator (fig. 4.4.5 a)

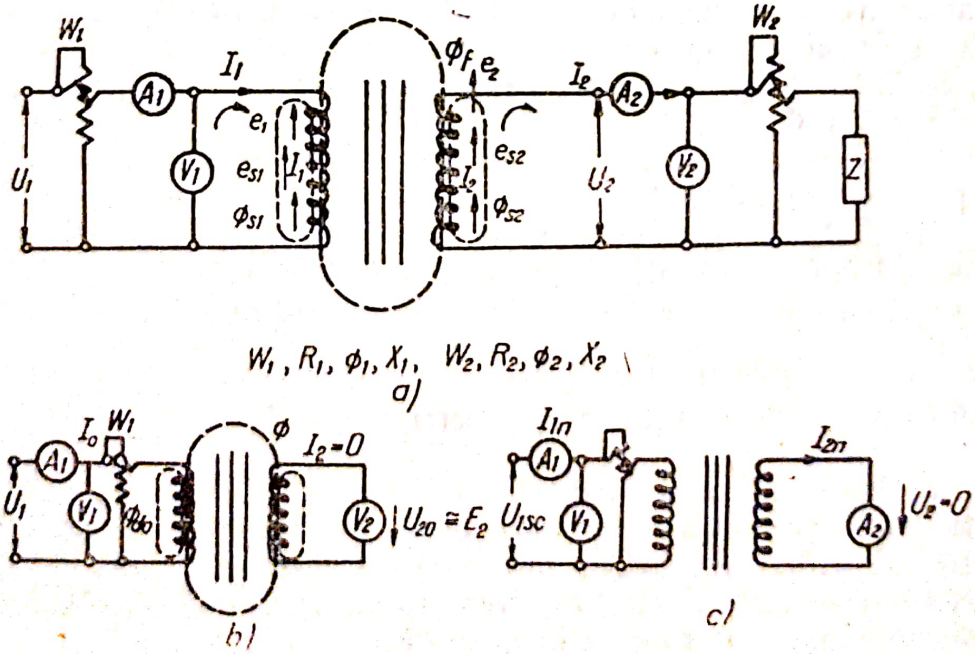


Fig. 4.4.5. Schema de conectare a transformatorului la funcţionare:
a — în sarcină; *b* — în gol; *c* — în scurtcircuit.

Ambele înfășurări se presupun înfășurate în același sens, avînd fiecare ω_1 și ω_2 spire, R_1 și R_2 fiind rezistențele ohmice ale înfășurării.

O parte din fluxul produs de fiecare înfășurare, Φ_{f1} și Φ_{f2}, se închide prin fier dînd fluxul principal Φ, iar o parte (cîteva procente Φ_{s1} și Φ_{s2}, se închide prin aer. Fluxurile care se închid prin fier nu sînt proporționale cu curenții care le produc, deoarece permeabilitatea magnetică a fierului nu este constantă.

Fluxurile care se închid prin aer, numite fluxuri de scăpări, sînt proporționale cu curenții, deoarece permeabilitatea magnetică a aerului este constantă. În figurile 4.4.4. și 4.4.5. Tensiunile electromotoare de inducție proprie induse de aceste fluxuri în bobinajele proprii sînt date de relațiile

$$e_{s1} = -\omega \frac{d\Phi_{s1}}{dt} = -L_1 \frac{di_1}{dt}; \quad e_{s2} = -\omega_2 \frac{d\Phi_{s2}}{dt} = -L_2 \frac{di_2}{dt} \tag{4.4.7}$$

în care L_1 și L_2 sînt inductanțele de scăpări ale înfășurărilor, date de relațiile

$$L_1 = \frac{\omega_1 \Phi_{s1}}{I_1}; \quad L_2 = \frac{\omega_2 \Phi_{s2}}{I_2}; \tag{4.4.8}$$

Valorile eficace ale f.e.m. de scăpări E_{s1} și E_{s2} sînt date de relațiile

$$E_{s1} = L_1 \omega I_1 = X_1 I_1; \quad E_{s2} = L_2 \omega I_2 = X_2 I_2 \tag{4.4.9}$$

în care I_1 și I_2 sînt valorile efective ale curenților din înfășurări, iar

$$X_1 = \omega L_1; \quad X_2 = \omega L_2; \tag{4.4.10}$$

sînt reactanțele de scăpări din înfășurări.

Tensiunea aplicată la bornele înfășurării primare echilibrează t.e.m. induse în ea de fluxul principal și fluxul de scăpări. T.e.m. indusă în secundar de fluxul principal echilibrează t.e.m. indusă în ea de fluxul de scăpări și are o componentă egală cu tensiunea la bornele secundarului.

Pentru circuitul primar și secundar se obțin următoarele ecuații în valori instantanee:

$$U_1 = i_1 R_1 + \omega \frac{d\Phi}{dt} + L_1 \frac{di_1}{dt} \tag{4.4.11}$$

și

$$e_2 = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + u_2 \tag{4.4.12}$$

Din egalitatea dintre t.e.m. la mers în gol și suma t.m.m. a înfășurărilor se obține a treia relație de bază, în valori instantanee

$$i_0 \omega_1 = i_1 \omega_1 + i_2 \omega_2 = \Phi R_m \tag{4.4.13}$$

unde Φ este fluxul util, iar R_m este reluctanța magnetică a circuitului.

Scanned with OKEN Scanner

Vectorial, relaţiile precedente se scriu astfel:

$$\bar{U}_1 = R_1\bar{I}_1 + j\omega L_1\bar{I}_1 + j\omega\omega_1\bar{\Phi}, \tag{4.4.14}$$

$$-j\omega\omega_2\bar{\Phi} = R_2\bar{I}_2 + j\omega L_2\bar{I}_2 + \bar{U}_2, \tag{4.4.15}$$

$$\omega_1\bar{I}_0 = \omega_1\bar{I}_1 + \omega_2\bar{I}_2 \tag{4.4.16}$$

Valoarea curentului I_2 din secundar se determină cu relaţia:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2 + r)^2 + (X_2 + x)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{R^2 + X^2}} \tag{4.4.17}$$

unde r şi x sînt rezistenţa şi reactanţa consumatorului.

Defazajul φ_2 dintre tensiunea U_2 şi curentul I_2 se află din expresia

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{X}{R} \tag{4.4.18}$$

În relaţiile precedente, prin X şi R s-au notat reactanţa totală şi rezistenţa totală a circuitului secundar.

Mărimile U_2 şi I_2 se pot măsura cu ampermetrul A_2 şi voltmetrul V_2, iar puterea activă P_2 se măsoară cu wattmetrul W_2. Factorul de putere este dat de raportul dintre puterea activă P_2 şi puterea aparentă S_2;

$$\cos\varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{P}{U_2 \cdot I_2} \tag{4.4.19}$$

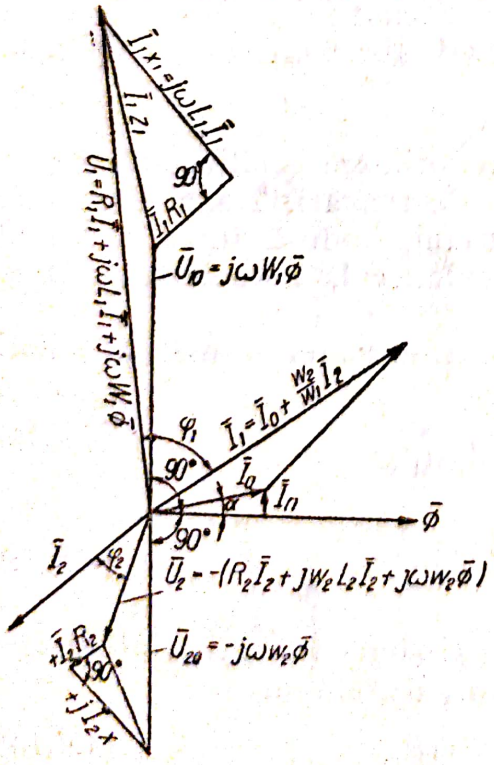


Fig. 4.4.6. Diagrama fazorială a transformatorului în sarcină.

De asemenea, instrumentele de măsurat din circuitul primar permit să se măsoare mărimile electrice U_1, I_1, P_1, S_1 şi să se determine $\cos\varphi_1$.

Aceste date sînt necesare la construirea diagramei de funcţionare a transformatorului.

b) Diagrama transformatorului la mers în sarcină. Diagrama transformatorului se construieşte cu ajutorul ecuaţiilor de bază, sub formă complexă, presupunînd cunoscute, prin măsurătoare, U_2, I_2, φ_2 şi parametrii înfăşurărilor, în felul următor (fig. 4.4.6):

Se ia ca origine de fază faza lui U_2, faţă de care se duce curentul I_2, defazat cu φ_2 în urma tensiunii U_2;

Se trasează grafic ecuaţia (4.4.15) care dă $U_{20} = E_2$, adică t.e.m. în secundarul transformatorului, defazată cu 90° în urma fluxului rezultant;

Se trasează fluxul Φ cu 90° înaintea lui U_{20};

Se trasează curentul de mers în gol I_0, care este egal cu suma geometrică a doi curenți componenți: componenta de magnetizare I_m, care produce fluxul util Φ și care este în fază cu aceasta, și componenta activă I_h, corespunzătoare pierderilor totale în fier, decalată cu 90° înaintea fluxului avînd valoarea dată de relația:

$$I_h = \frac{p_{Fe}}{U_{10}} = \frac{p_0}{U_{10}} \tag{4.4.20}$$

Curentul I_0 absorbit de primar la mers în gol se descompune în cele două componente I_m și I_h, de unde rezultă unghiul α pe care îl face I_0 cu Φ.

$$I_m = \sqrt{I_0^2 - I_f^2}, \tag{4.4.21}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{I_h}{I_m};$$

Componenta de magnetizare a curentului la mers în gol se poate afla prin măsurare sau analitic, din relația (4.4.13), pentru $i_2 = 0$

$$I_0 = \frac{\Phi \cdot R}{\omega_1} \tag{4.4.22}$$

Avînd curentul I_0 se află curentul I_1, în primar, din ecuația 4.4.16. în care se împart toți termenii cu ω_1;

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \bar{I}_2 \tag{4.4.23}$$

Se trasează tensiunea $U_{10} = E_1$, defazată cu 90° înaintea lui Φ, apoi, luînd ca bază pe I_1, se trasează ecuația (4.4.14) și se află tensiunea U_1 la bornele primare, decalată cu φ_1 înaintea curentului I_1.

c) Funcționarea transformatorului în gol. Cînd bornele secundarului sînt deschise, transformatorul funcționează în gol (fig. 4.4.5b) Impedanța secundarului este $Z = \infty$, curentul în secundar $I_2 = 0$, iar tensiunea de borne U_{20} este egală cu t.e.m. în secundar E_2.

Curentul de mers în gol I_0, absorbit de primar, reprezintă 3—8% din curentul nominal I_{1n} de mers în sarcină. Fluxul de dispersie Φ_{s10} reprezintă 3—5% din fluxul util $\Phi = \Phi_0$, astfel că tensiunea la bornele primare poate fi considerată egală cu f.e.m. E_1 din primar.

Ecuațiile de bază devin:

$$\bar{U}_{10} = \bar{I}(R_1 + j\omega L_1) + j\omega \omega_1 \bar{\Phi}$$

$$\bar{U}_{20} = -j\omega \omega_2 \bar{\Phi}$$

Avem

$$j\omega \Phi = -\frac{U_{20}}{\omega_2}$$

Înlocuind această valoare în prima ecuaţie şi neglijînd căderea de tensiune rezistivă şi inductivă, produsă de I_0 la trecerea prin primar, se află relaţia

$$\bar{U}_{10} \approx -\bar{U}_{20}\frac{\omega_1}{\omega_2}$$

din care se află raportul de transformare al transformatorului

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cong \frac{U_{10}}{U_{20}} \tag{4.4.24}$$

Raportul de transformare se poate exprima şi în funcţie de curenţii din circuit, la mers în sarcină, din relaţia (4.4.16), în care se neglijează curentul de mers în gol I_0, ca fiind mic faţă de curentul nominal.
Se obţine

$$\omega_1 I_1 + \omega_2 I_2 = 0$$

de unde

$$\frac{1}{k} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \approx \frac{I_1}{I_2} \tag{4.4.25}$$

Puterea consumată la mersul în gol, măsurată cu wattmetrul W_1, reprezintă pierderile p_f în fierul transformatorului, pierderile în cupru $I_0^2 R_1$ fiind neglijabile. Pierderile în fier sînt aproximativ constante la orice sarcină.

d) *Funcţionarea transformatorului în scurtcircuit.* Cînd secundarul este scurtcircuitat, adică bornele lui sînt legate printr-un conductor cu impedanţa $Z = 0$, transformatorul funcţionează în scurtcircuit (fig. 4.4.5c). Tensiunea secundară este zero ($u_2 = 0$), iar în transformator apar curenţi de scurtcircuit mari, care distrug transformatorul.

În laborator, încercarea la mersul în scurtcircuit se realizează scurtcircuitînd bornele secundare şi aplicînd primarului o tensiune redusă U_{1sc}=3...5% din tensiunea primară nominală, numită tensiune de scurtcircuit, astfel încît prin înfăşurări să treacă curenţii nominali I_{1n} şi I_{2n}.

Curentul real de scurtcircuit este dat de raportul

$$I_{sc\,\text{real}} = I_{1n}\frac{U_{1n}}{U_{sc}} \approx 20\, I_{1n} \tag{4.4.26}$$

Puterea consumată la mersul în scurtcircuit, măsurată cu wattmetrul W_1, reprezintă pierderile în cuprul înfăşurărilor prin efect Joule-Lenz.

Randamentul transformatorului este dat de raportul dintre puterea utilă P_2 în secundar şi puterea P_1 absorbită de primar la mers în sarcină. Se determină prin următoarele metode:

— *Metoda directă.* Se măsoară puterile P_1 şi P_2 cu wattmetrele W_1 şi W_2 (fig. 4.4.5a) Randamentul este:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \tag{4.4.27}$$

— *Metoda indirectă a pierderilor separate.* Se determină pierderile în fier p_{Fe} prin încercarea la mers în gol, şi pierderile în cupru p_{Cu}, prin încercarea la mers în scurtcircuit. Randamentul este dat de relaţia

$$\eta = \frac{\beta \cdot P_n \cos \varphi_2}{\beta \cdot P_n \cdot \cos \varphi_2 + p_f + \beta^2 p_{Cu}} \qquad (4.4.28)$$

unde $\beta = \frac{I_2}{I_{2n}}$, este factorul de încărcare, P_n este puterea nominală, în kVA, iar p_f, p_{Cu} sînt pierderi, în kilowaţi determinate experimental.

Condiţia ca randamentul să fie maxim se află derivînd relaţia (4.4.28) în raport cu β şi anulînd expresia. Se află $p_f = \beta^2 p_{Cu}$, deci randamentul este maxim la egalitatea pierderilor constante p_f cu cele variabile $\beta^2 p_{Cu}$, cînd β are valoarea

$$\beta = \sqrt{\frac{p_f}{p_{Cu}}} \approx 0{,}5 \ldots 0{,}7 \qquad (4.4.29)$$

În figura 4.4.7. sînt date curbele randamentului şi a pierderilor, în funcţie de sarcină.

4.4.2. **Autotransformatorul monofazat.** Autotransformatorul constă dintr-un miez de fier, pe care se află o înfăşurare de tensiune înaltă *ab* cu ω_1 spire. Înfăşurarea de joasă tensiune *ac* cuprinde un anumit număr de spire ω_2, din înfăşurarea de înaltă tensiunea (fig. 4.4.8).

Oricare din aceste înfăşurări poate constitui primarul transformatorului, alimentat cu tensiunea U_1, cealaltă înfăşurare constituind secundarul, cu tensiune U_2, deci autotransformatorul poate fi ridicător sau coborîtor de tensiune.

Cînd circuitul secundar este deschis, autotransformatorul funcţionează ca un transformator obişnuit în gol, iar raportul de transformare este dat de relaţia

$$k = \frac{U_{10}}{U_{20}} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \qquad (4.4.30)$$

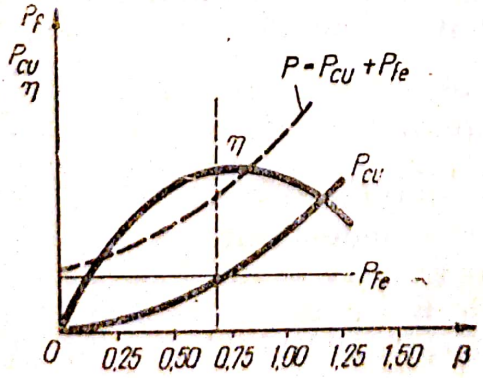


Fig. 4.4.7. Curbele randamentului şi ale pierderilor în funcţie de sarcină.

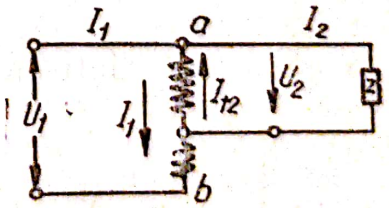


Fig. 4.4.8. Schema de principiu a transformatorului monofazat.

Autotransformatorul funcţionează în sarcină, atunci cînd secundarul său este legat la un circuit exterior, cu impedanţa receptorului Z. Dacă se neglijează pierderile din autotransformator puterile din primar şi secundar sînt egale:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

raportul de transformare se află din relaţia

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

deci raportul curenţilor va fi

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{1}{k} \qquad (4.4.31)$$

Curenţii din înfăşurările în opoziţie se află din teorema întîi a lui Kirchhoff, aplicată în punctul a, ţinînd seama de relaţia (4.4.29)

$$I_2 = I_1 + I_{12} \qquad (4.4.32)$$

iar curentul rezultant I_{12} din secundar, diferit de curentul de sarcină I_2, este

$$I_{12} = I_2 - I_1 = I_2\left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) = I_2\left(1 - \frac{1}{k}\right) \qquad (4.4.33)$$

Curentul I_{12} este cu atît mai mic cu cît raportul de transformare k este mai apropiat de 1. Pentru a realiza economie la bobinaj, raportul de transformare se ia între 1,5 şi 2.

Înmulţind ambii membrii ai relaţiei (4.3.30) cu U_2, se obţine relaţia:

$$P_2 = U_2 I_2 = U_2 I_1 - U_2 I_{12} \qquad (4.4.34)$$

din care rezultă că puterea P_2 debitată de secundar se compune din puterea $U_2 I_1$ transmisă din primar în secundar, prin cuplajul electric dintre ele şi puterea $U_2 I_{12}$ transmisă pe cale magnetică, prin intermediul înfăşurării secundare.

Deoarece cuplajul dintre primar şi secundar este atît magnetic cît şi electric, autotransformatoarele nu se utilizează la iluminatul cu tensiune redusă (12,2 4 V) din motive de securitate a muncii.

4.4.3. **Transformatorul trifazat.** Transformatorul trifazat funcţionează prin alimentarea sa cu un sistem de curenţi trifazaţi, aplicînd la bornele primarului o tensiune alternativă trifazată, de regulă simetrică. Fenomenele care au loc în fiecare fază a transformatorului trifazat sînt în general, identice cu acelea dintr-un transformator monofazat.

Sistemul magnetic a transformatorului trifazat poate fi împărţit în sistem magnetic cu fluxuri libere, format din trei unităţi monofazate identice (fig. 4.4.90) şi sistem magnetic cu fluxuri forţate cu trei coloane (fig. 4.4.9b), care constituie tipul cel mai răspîndit.

Ţinîndu-se seama că suma curenţilor sistemului trifazat presupus sinusoidal şi echilibrat, care alimentează transformatorul este zero, rezultă că

Scanned with OKEN Scanner

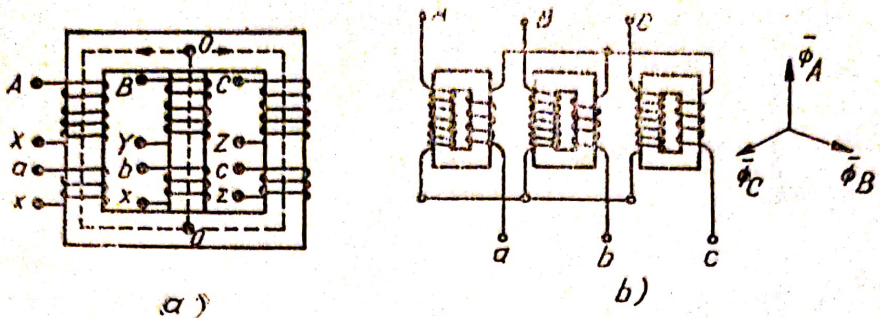


Fig. 4.4.9. Transformator trifazat:
a — cu sistem magnetic liber; *b* — cu sistem magnetic trifazat cuplat.

$\bar{\Phi}_A + \bar{\Phi}_B + \bar{\Phi}_C = 0$, deci fluxul rezultant prin coloana centrală este în orice moment, nul.

Legarea fazelor în primar și secundar se poate face în stea, triunghi, iar în secundar și în zig-zag, notațiile simbolice respective fiind *Y*, *D*, *Z* pentru tensiunea înaltă și *y*, *d*, *z* pentru tensiunea joasă. Cînd una din înfășurări are neutrul scos afară, la simbolul respectiv se adaugă indicele *O* (indicele punctului neutru).

În tabele sînt date grupele de conexiuni ale transformatoarelor trifazice.

Legarea fazelor în stea este utilizată în rețelele de distribuție, în cazul încărcărilor simetrice sau asimetrice, pentru iluminat sau forță.

Legarea fazelor în triunghi se utilizează în cazul puterilor mari.

Legarea fazelor în zig-zag se utilizează numai pentru înfășurarea de joasă tensiune a transformatorului, înfășurarea de înaltă tensiunea fiind legată în stea, în rețelele de distribuție cu conductor neutru cu sarcini neuniforme; este folosită mai ales la rețelele de iluminat, încărcate neuniform, deoarece sarcina de pe o fază a secundarului se repartizează pe două faze primare.

La legarea în zig-zag, fiecare fază secundară se împarte în două jumătăți, care se așază pe două coloane diferite și se leagă în serie, astfel ca ele să fie străbătute de curent în sens invers (fig. 4.4.10a).

Pe fiecare jumătate de fază are loc o cădere de tensiune egală cu jumătate din tensiunea de fază:

$$U_A = U_B = U_C = \frac{U_f}{2}$$

Tensiunea rezultantă între începutul unei faze și punctul neutru, obținută prin adunarea vectorială a tensiunilor jumătăților de fază legate în serie (fig. 4.4.10b) este:

$$U_{A0} = U_{B0} = U_{C0} = 2\frac{U_f}{2}\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}U_f \qquad (4.4.35)$$

de unde

$$U_f = \frac{2}{\sqrt{3}}U_{AC} \qquad (4.4.36)$$

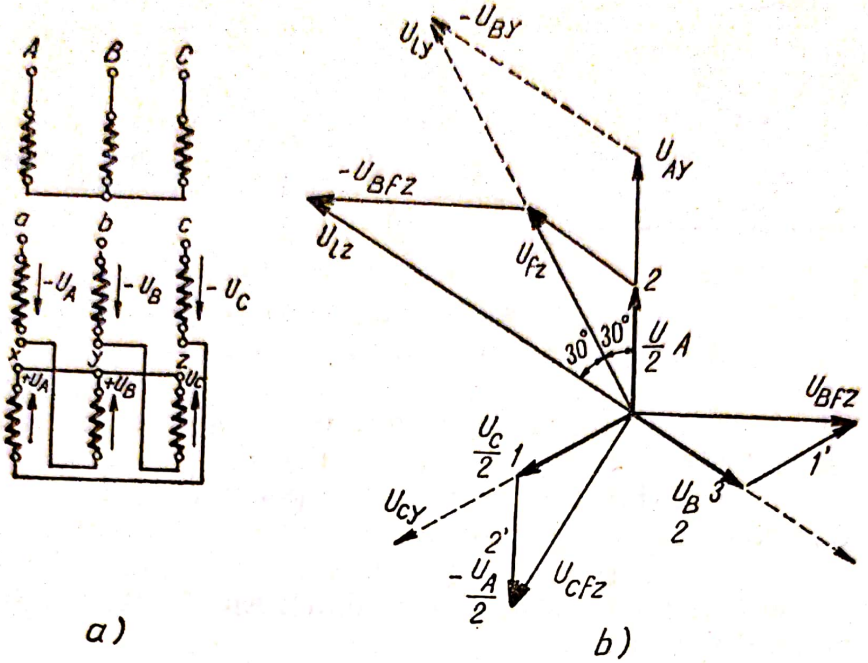


Fig. 4.4.10.

a — Schema de conexiuni a fazelor transformatorului cu primarul în stea şi secundarul în zig-zag; *b* — diagrama legăturii în zig-zag.

Deci pentru a avea o tensiune rezultantă egală cu tensiunea de fază, la înfăşurarea în zig-zag se pune un număr de spire de $2/\sqrt{3} = 1{,}155$ ori mai mare decît la legarea în stea.

Raportul de transformare al unui transformator trifazat la care fazele primare şi secundare au aceeaşi conexiune, sau au conexiuni diferite, este dat de raportul dintre tensiunile de linie primare şi secundare.

Cifrele care apar în simbolurile legăturilor dintre faze, înmulţite cu 30 (unitatea de defazaj), dau unghiul de defazaj între tensiunile de linie primare şi secundare ale transformatorului la conexiunea respectivă. Unghiul de defazaj se ia în sensul de mişcare al acelor de ceasornic, luînd ca origine de fază tensiunea de linie a circuitului primar.

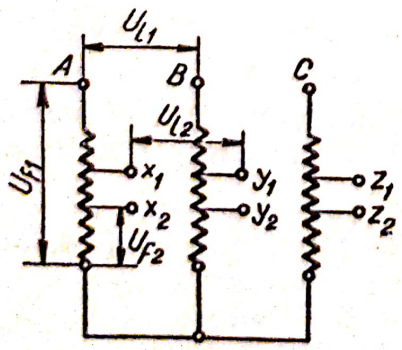


Fig. 4.4.11. Autotransformatorul trifazat.

4.4.4. **Autotransformatorul trifazic.** Autotransformatorul trifazic constă dintr-un miez de fier cu trei coloane, pe care sînt bobinajele primare şi secundare cuplate magnetic şi electric (fig. 4.4.11).

Autotransformatoarele trifazice se folosesc pentru alimentarea cu tensiune variabilă a motoarelor asincrone, la pornire.

4.4.5. **Transformatoarele de măsură.** În cazul măsurării tensiunilor medii şi înalte precum şi al curenţilor de intensităţi foarte mari, se folosesc

transformatoare de măsură. În acest caz se asigură atît protecţia personalului de deservire cît şi a aparatajului de protecţie introdus în instalaţii, prin separarea circuitului de utilizare de circuitul de măsură.

a) Transformatorul de tensiune. Primarul transformatorului se conectează la tensiunea înaltă U_1, iar în secundar se obţine o tensiune joasă U_2, standardizată în măsurători electrice la $U_{2n} = 100$ V. Puterea lui este mică, de 10—15 VA. În secundar se leagă voltmetre sau circuitele de tensiune ale wattmetrelor, contoarelor, releelor din circuite de protecţie etc. Raportul de transformare este variabil, pentru a se putea obţine diferite domenii de măsură, şi este dat de relaţia

$$k_u = \frac{U_1}{U_2} \tag{4.4.37}$$

valoarea tensiunii măsurate, care este tensiunea primară, fiind:

$$U_1 = k_u \cdot U_2 \tag{4.4.38}$$

Transformatoarele de tensiune se leagă în paralel cu circuitul de măsurat (fig. 4.4.12.a). Carcasa instrumentului conectat în secundar, precum şi secundarul, se leagă la pămînt, pentru protecţie în caz de străpungere a izolaţiei.

Transformatorul de tensiune, funcţionează în regim apropiat de mers în gol, deoarece rezistenţa interioară a voltmetrului este mare.

b) Transformatorul de intensitate. Transformatorul de intensitate reduce valoarea curentului, deci circuitul lui primar constă dintr-o înfăşurare cu spire puţine w_1 (uneori o singură spiră), cu secţiune mare legată în serie în circuit. Înfăşurarea secundară are w_2 spire, curentul secundar fiind standardizat la $I_{2n} = 5$A. În secundarul transformatorului se leagă ampermetrul sau circuitele de curent ale wattmetrelor, contoarelor şi releelor (fig. 4.4.12.b).

Rezistenţa instrumentelor conectate în secundar fiind mică, transformatorul funcţionează în regim de scurtcircuit, raportul de transformare variabil fiind:

$$k_i = \frac{I_1}{I_2} \tag{4.4.39}$$

deci intensitatea măsurată este:

$$I_1 = k_i \cdot I_2 \tag{4.4.40}$$

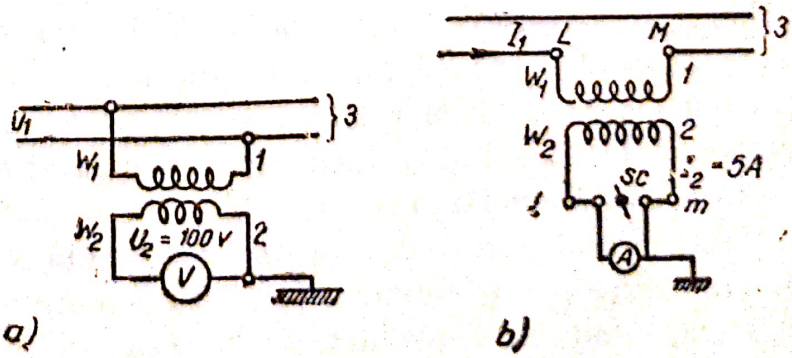


Fig. 4.4.12.
a — schema transformatorului de tensiune; *b* — schema transformatorului de intensitate.

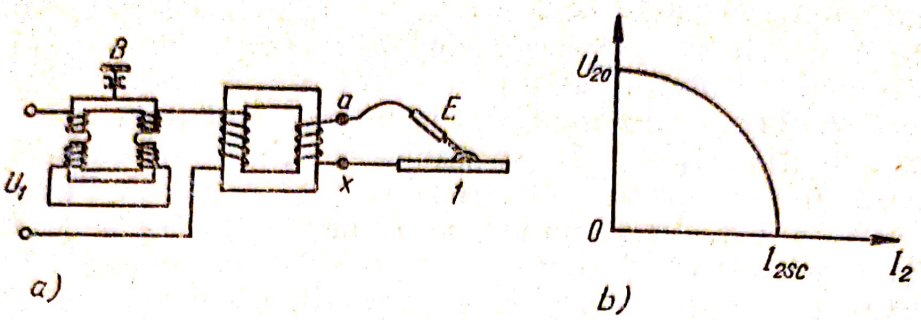


Fig. 4.4.13.
a — schema transformatorului de sudură;
b — caracteristica de sudare.

Dacă primarul este conectat la reţea iar secundarul este deschis (de exemplu, prin deconectarea ampermetrului), tensiunea la bornele secundare poate creşte de la valorile normale de 3—5 V, la valori de sute de volţi, ceea ce periclitează deservirea lui, produce o creştere a pierderilor în fier, deci încălzeşte miezul transformatorului, existînd totodată şi pericolul străpungerii izolaţiei şi al electrocutării personalului de deservire. Acest lucru se evită prin scurtcircuitarea bornelor secundare înaintea deconectării instrumentelor de măsurat, cu întrerupătorul S_c.

În cazul tensiunilor înalte, din motive de securitate carcasa şi secundarul transformatorului de intensitate se leagă la pămînt, iar în cazul tensiunilor joase se leagă numai carcasa.

4.4.6. **Transformatoare de sudură.** Construcţia transformatoarelor de sudură depinde de caracterul operaţiei de sudură.

Pentru sudarea cap la cap, în cusătură şi prin puncte, transformatoarele funcţionează cu o tensiune secundară redusă, de cîţiva volţi.

Transformatorul folosit în sudura cu arc funcţionează cu o tensiune secundară de mers în gol de aproximativ 70 V şi un curent secundar reglabil între 70 şi 300 A. Caracteristica sa exterioară coboară brusc cu sarcina (fig. 4.4.13) pentru ca în timpul sudurii curentul secundar să rămînă cît mai constant. Unul din mijloacele de realizare a acestei condiţii este utilizarea unei bobine cu reactanţă mare, montată în serie în circuitul primar al transformatorului, aşa după cum se vede în figura (4.4.13). Bobina B are reactanţa variabilă, prin modificarea întrefierului din circuitul său magnetic. Prin variaţia reactanţei bobinei se obţine o impedanţă variabilă în circuitul primar al transformatorului T, deci curentul de sudură din secundar este reglabil.

Dezavantajul transformatorului de sudură constă în factorul său de putere redus ($\cos \varphi = 0{,}3 \ldots 0{,}5$) şi în dezechilibrul pe care îl provoacă în reţea, fiind un consumator monofazic.

4.5. MAŞINA SINCRONĂ

4.5.1. Construcţia maşinii sincrone. Maşina sincronă este numită astfel din cauză că funcţionează cu o turaţie n constantă, numită viteză de sincronism, a cărei valoare, în funcţie de frecvenţa f a reţelei şi de numărul de perechi de poli p ai maşinii, este dată de relaţia:

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p} \qquad (4.5.1)$$

Maşina sincronă se compune dintr-o parte fixă, numită stator, care formează indusul maşinii, şi din rotor, care formează inductorul, deci invers ca la maşina de curent continuu. Această soluţie s-a adoptat pentru a se evita dificultăţile de ordin constructiv şi funcţional, dînd posibilitatea legării directe a indusului cu receptoarele, fără intermediul inelelor colectoare şi a periilor (fig. 4.5.1).

Statorul constă dintr-un miez cilindric de fier confecţionat din tole de oţel electrotehnic cu grosimea de 0,5 mm izolate între ele cu lac, din carcasa care susţine miezul şi fixează maşina de fundaţie şi din scuturi care închid maşina lateral şi susţin palierele.

Pe stator există un bobinaj monofazat sau trifazat deschis, care poate fi legat în stea sau în triunghi.

Rotorul poate fi cu poli aparenţi sau înecaţi.

Rotorul cu poli aparenţi constă dintr-un cilindru de oţel, pe care sînt fixaţi polii inductori din oţel sau din tablă laminată. Bobinele de excitaţie ale polilor electromagnetici sînt legate în serie, astfel ca să se obţină succesiv un pol nord şi altul sud. Extremităţile bobinajului de excitaţie sînt legate la două inele izolate între ele şi izolate faţă de axa maşinii pe care sînt fixate. Prin intermediul a două perii care glisează pe inele, se face legătura între bobina de excitaţie şi generatorul de curent continuu E (excita-

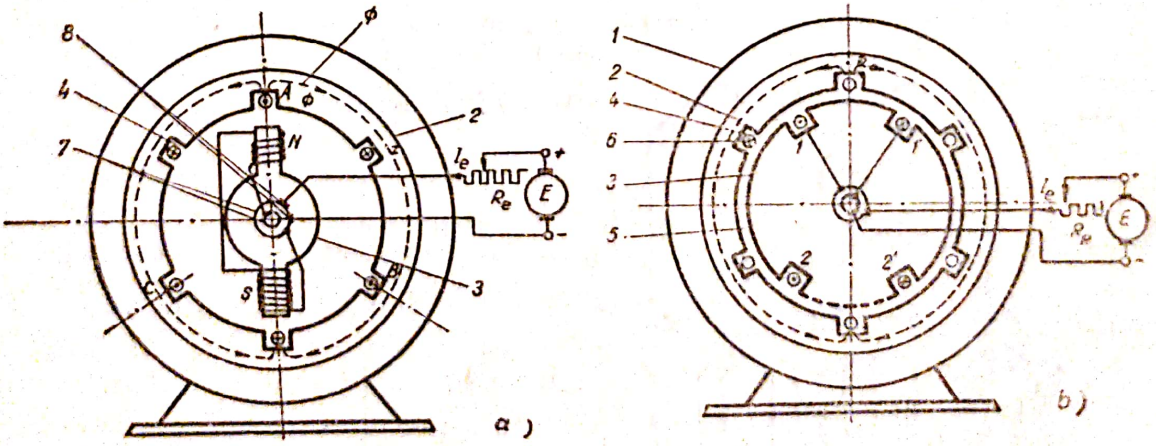


Fig. 4.5.1. Maşină sincronă:
a — cu poli aparenţi; *b* — cu poli înecaţi; *1* — carcasă; *2* — miez; *3* — rotor; *4* — crestături; *5* — întrefier; *6* — mănunchi; *7* — inele; *8* — perii

trice), care produce curentul continuu de excitație I_e, necesar pentru magnetizarea rotorului. Indusul excitatricei este fixat pe axa mașinii, iar inductorul pe un capac al ei. Reostatul de excitație R_e, legat în serie cu bobinajul de excitație al mașinii sincrone, servește la varierea curentului de excitație, deci a fluxului Φ produs de acesta.

Din motive de rezistență, rotorul cu poli aparenți se folosește la turații pînă la 1000 rot/min. Rotorul cu poli înecați se folosește la mașini cu turația mai mare de 1000 rot/min.

Înfășurările mașinilor de curent alternativ sînt deschise, fiecare fază avînd extremitățile libere.

Înfășurarea formată din mai multe spire se numește bobină sau secțiune, iar conductoarele active dintr-o latură a bobinei formează un mănunchi. Distanța dintre două mănunchiuri constituie pasul înfășurării, care este egal sau mai mic decît pasul polar τ (distanța dintre axele a doi poli contrari succesivi). În general un mănunchi de început A al bobinei stă sub influența unui pol, iar sub influența unui pol contrar se află celălalt mănunchi al ei.

O fază este formată din mai multe bobine legate în serie. În figura 4.5.2. este arătată schema de principiu a bobinajului statorului unei mașini sincrone cu doi poli ($2p = 2$) și patru poli ($2p = 4$).

La mașina bipolară, o perioadă a t.e.m. din bobinajul statorului corespunde unei rotații de 360° a rotorului.

În general, între unghiul geometric măsurat pe circumferința mașinii și unghiul electric (în diagrama vectorială) există relația:

$$\alpha^{\circ}_{\text{geometrice}} = p\alpha^{\circ}_{\text{electrice}}$$

Rezultă că turația de sincronsim a unei mașini bipolare care funcționează cu o frecvență de 50 Hz este de 3000 rot/min, iar a unei mașini tetrapolare, de 1 500 rot/min, deci pentru o frecvență constantă, turația scade cu creșterea numărului de poli.

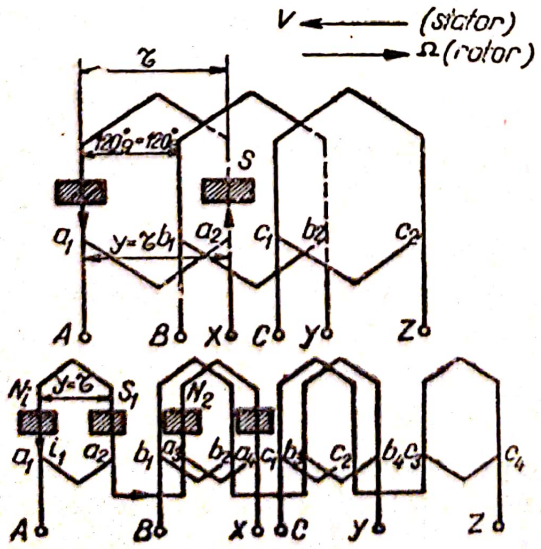


Fig. 4.5.2. Schema de principiu a înfășurării statorului unei mașini sincrone:
a — bipolare; *b* — tetrapolare;

Din cele expuse rezultă următoarele concluzii: la mașina sincronă cu poli aparenți (fig. 4.5.1 a), la trecerea curentului de excitație I_e, produs de excitatricea E, ia naștere un flux care se închide prin miezul statorului. Statorul are trei bobine deschise AX, BY, CZ, al căror pas de bobinaj este egal cu pasul polar, astfel încît un mănunchi de început (A) se află în fața polului nord, iar un mănunchi de sfîrșit (X) se află în fața polului sud. Bobinele sînt decalate în spațiu cu 120°, astfel că ele ajung succesiv în fața polului nord după un timp egal cu o treime din timpul unei perioade.

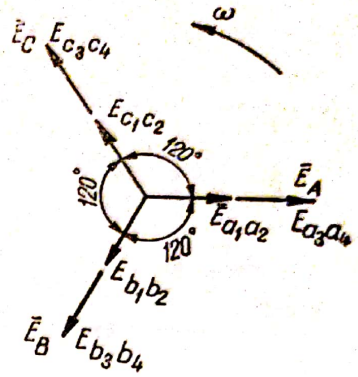


Fig. 4.5.3. Diagrama t.e.m. a unei mașini tetrapolare.

În figura 4.5.2a este reprezentată schema desfășurată a înfășurării statorului mașinii din figura 4.5.1a. Fiecare fază este formată dintr-o secțiune, compusă din cîte un mănunchi de început a_1, b_1, c_1 și un mănunchi de sfîrșit a_2, b_2, c_2.

Cele spuse sînt valabile și pentru mașina bipolară cu poli înecați (fig. 4.5.1. b), unde cîmpul magnetic al rotorului este produs cu ajutorul bobinelor 11' și 22', fixate în crestături. Bobinele sînt legate în serie, fiind străbătute de curentul I_e.

La înfășurarea mașinii tetrapolare din figura 4.5.2b, faza AX a statorului este compusă din două secțiuni a_1a_2 și a_3a_4, legate în serie. Celelalte două faze sînt de asemenea compuse din cîte două secțiuni legate în serie. La o rotire de 360° geometrice a inductorului, fiecare mănunchi trece de două ori prin fața unui pol, deci în fiecare fază se induce o t.e.m., cu o variație corespunzătoare la două perioade, deci la $p \cdot 360 = 2 \cdot 360 = 720°$ electrice.

În figura 4.5.3. este reprezentată diagrama vectorială a t.e.m. pe fază. Fiecare t.e.m. pe faza se compune din suma geometrică a t.e.m. a unei secțiuni $E_{a1a2} \cdot E_{a3a4}$, în fază și egale între ele.

4.5.2. **Generatorul sincron.** Funcțiunea de bază a mașinii sincrone este aceea de generator, în special pentru curent trifazat cu frecvența industrială ($f = 50$ Hz).

În acest caz inductorul este rotit de o mașină primară, cu viteza de sincronsim dată de relația (4.5.1). Fluxul Φ al inductorului constituie un cîmp învîrtitor, a cărui repartiție de-a lungul întrefierului este sinusoidală, închizîndu-se prin stator, rotor și prin întrefierul mașinii.

Intersectînd înfășurarea statorului, cîmpul induce în cele trei faze ale lui, t.e.m. e_1, e_2, e_3 defazate în timp cu 120° între ele.

În figura 4.5.4. este dată schema de principiu a legării generatorului la o rețea trifazică, în cazul conexiunii în stea cu fir neutru.

Tensiunea electromotoare indusă într-o fază a generatorului este dată de relația:

$$E = 4{,}44w \cdot n \cdot \Phi \cdot \xi$$

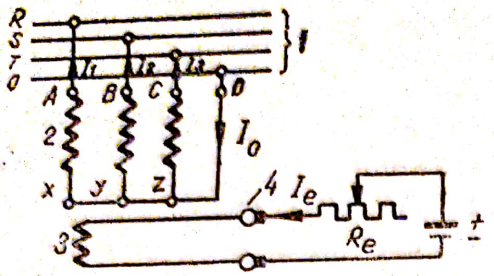


Fig. 4.5.4. Legarea generatorului la o reţea trifazată:
1 — reţea trifazată; *2* — stator; *3* — rotor; *4* — inele.

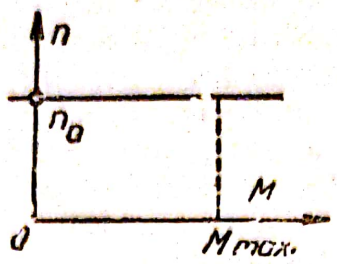


Fig. 4.5.5. Caracteristica mecanică a motorului sincron.

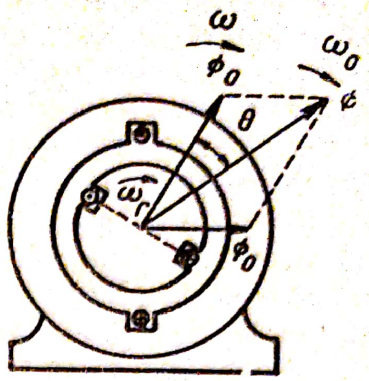


Fig. 4.5.6. Decalajul θ dintre θ_1 şi θ_2 la regimul de funcţionare ca motor al maşinii sincrone bipolare cu poli înecaţi.

în care w reprezintă numărul de spire legate în serie pe fază iar ξ este coeficientul de înfăşurare (bobinaj). Prin modificarea fluxului inductor Φ cu ajutorul reostatului de excitaţie R_e, t.e.m. a generatorului se menţine constantă la variaţia sarcinii în reţeaua exterioară (în cazul cînd generatorul alimentează singur o reţea).

4.5.3. **Motorul sincron.** Maşina sincronă funcţionează la o turaţie constantă n_0, legată de frecvenţa f a reţelei de curent alternativ şi de numărul p de perechi de poli ai maşinii prin relaţia

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p}$$

Caracteristica mecanică este absolut rigidă şi se prezintă ca o linie dreaptă pentru întreg domeniul de funcţionare (figura 4.5.5).

T.m.m., rotorică şi statorică se compun într-o singură t.m.m. învîrtitoare rezultantă, care creiază un flux magnetic rezultant Φ.

Fluxul învîrtitor util Φ_0 este creat de t.m.m. inductoare produsă de polii rotorului care poartă pe ei bobinajul de excitaţie, alimentat în curent continuu. Curentul statoric al maşinii produce t.m.m. a reacţiei indusului care se roteşte sincron cu rotorul. Această t.m.m. creiază fluxul de reacţie a indusului Φ_a.

În funcţionarea maşinilor sincrone un rol însemnat îl are unghiul de decalaj θ dintre cîmpul învîrtitor Φ şi cîmpul produs de rotor Φ_0 (figura 4.5.6).

Principiul de funcţionare al motorului sincron se bazează pe acţiunea electromagnetică dintre stator şi rotor, acţiune în care fluxul rezultant învîrtitor Φ al statorului antrenează după sine rotorul. Unghiul de rămînere a rotorului în urma cîmpului învîrtitor, se datoreşte încărcării motorului. Dacă se depăşeşte o anumită sarcină maximă, unghiul θ creşte prea mult, motorul iese din sincronism, iar rotorul se opreşte.

Scanned with OKEN Scanner

Cuplul motor al motorului cu rotorul în repaus este zero, deci la pornire, rotorul mașinii se aduce la viteza de sincronism, cînd rotorul continuă să se învîrtească. Acest lucru se realizează fie prin antrenarea rotorului cu un motor străin, fie prin pornire ca motor asincron.

Condițiile grele de pornire constituie un dezavantaj al motorului sincron. Alt dezavantaj îl constituie imposibilitatea reglării turației și necesitatea asigurării curentului continuu pentru excitație.

Acest motor are avantajul că factorul său de putere este cos $\varphi = 1$.

Motorul sincron supraexcitat produce energie reactivă cu caracter capacitiv, deci poate fi folosit pentru îmbunătățirea factorului de putere.

4.6. MAȘINA ASINCRONĂ

4.6.1. Generalități. Prin mașină asincronă se înțelege o mașină de curent alternativ care la frecvența dată a rețelei funcționează cu o turație variabilă cu sarcina. Mașinile asincrone se împart în două clase distincte: mașini asincrone fără colector, numite obișnuit mașini asincrone sau mașini de inducție, și mașini asincrone cu colector, care se numesc obișnuit mașini de curent altenativ cu colector.

Mașina asincronă, spre deosebire de mașina sincronă, este excitată cu ajutorul curentului alternativ, din rețeaua de distribuție la care este cuplată mașina. În principiu fluxul inductor al mașinii poate fi creat prin alimentarea fie a statorului fie a rotorului. Practic este mai rațional ca statorul mașinii să fie legat la rețeaua de curent alternativ, deci înfășurării statorice îi revine sarcina producerii fluxului inductor.

În ceea ce privește sistemul de curenți utilizați, cu excepții rare și care privesc numai motoarele de putere relativ mică, la mașinile asincrone se întrebuințează aproape exclusiv sistemul trifazat, care prezintă marele avantaj de a produce direct cîmpuri învîrtitoare.

Funcționarea mașinii asincrone se bazează pe acțiunea reciprocă electromagnetică dintre stator și rotor, care este cu totul asemănătoare, ca principiu fizic, cu acțiunea dintre înfășurările primare și secundare ale transformatorului. Dar în transformator înfășurarea secundară este fixă în spațiu, pe cînd în mașina asincronă ea se rotește cu viteza n.

Mașina asincronă are două părți constructive de bază: statorul, partea imobilă, care cuprinde carcasa și pachetul de tole statorice.

— rotorul, partea mobilă, care cuprinde pachetul de tole rotorice, înfășurarea rotorică, inelele de contact și ventilatorul (figura 4.6.1)

Miezul statoric este realizat din tole de oțel electrotehnic, de grosimea 0,5 mm, izolate cu lac sau hîrtie. Miezul are formă cilindrică, la periferia interioară a acestuia fiind practicate crestături distribuite în mod uniform. În crestături este introdusă o înfășurare trifazată AX, BY, CZ.

Cele șase capete ale acestor înfășurări sînt scoase la cutia de borne a mașinii unde sînt legate în stea sau în triunghi. În figura 4.6.1 b se arată sche-

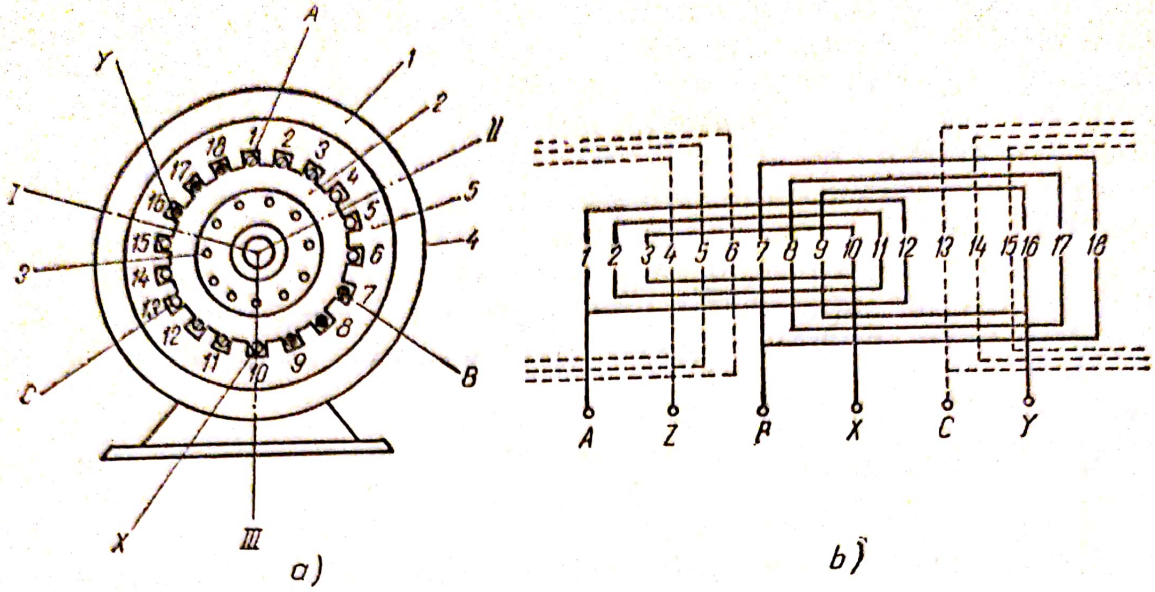


Fig. 4.6.1.

a — Schema de principiu a maşinii asincrone; *b* — Schema desfăşurată a bobinei unei faze a statorului; *1* — stator; *2* — rotor; *3* — bare de aluminiu; *4* — carcasa; *5* — miez; *6* — înfăşurare de fază.

matic modul de legare a conductoarelor unei bobine. Axele I, II, III ale bobinelor sînt decalate între ele cu 120° geometrice (adică în spaţiu) la motorul bipolar cu o pereche de poli pe fază.

La trecerea curenţilor i_1, i_2, i_3 prin bobine se produc trei fluxuri alternative Φ_1, Φ_2, Φ_3, defazate între ele, în timp şi decalate, în spaţiu, cu cîte 120°.

Conform celor stabilite la paragraful 2.2.6, aceste trei fluxuri produc un cîmp învîrtitor Φ, care se roteşte cu viteza de sincronism n_0, dată de relaţia cunoscută.

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p} \tag{4.6.1}$$

Dacă frecvenţa f_1 este constantă, viteza cîmpului de asemenea este constantă.

Din figura 4.6.1 se vede că sistemul de bobinaj al statorului este echivalent cu o pereche de poli pe fază ($p = 1$; $2p = 2$). O înfăşurare cu şase bobine, legate în serie două cîte două (1—4, 2—5, 3—6) este echivalentă cu două perechi de poli pe fază.

Rotorul motorului asincron prezintă două forme principale constructive: a) *rotor bobinat* şi b) *rotor în scurtcircuit*.

La rotoarele bobinate, în crestăturile prevăzute pe suprafaţa exterioară a miezului este aşezată o înfăşurare cu acelaşi număr de poli şi de regulă, cu acelaşi număr de faze ca şi înfăşurarea statorică. În cazul înfăşurării trifazate, cele trei faze sînt conectate în stea, cu capetele libere legate la trei inele fixate pe ax şi izolate atît între ele cît şi faţă de ax. Cu ajutorul unor perii, de regulă din bronz-grafit, înfăşurarea rotorică poate fi închisă pe

Scanned with OKEN Scanner

rezistenţele unui reostat de pornire sau de reglaj al turaţiei. Acest tip constructiv se mai numeşte şi rotor cu inele.

La construcţia rotorului în scurtcircuit, înfăşurarea acestuia constă dintr-o serie de bare de cupru sau de aluminiu, aşezate neizolat în crestăturile rotorului şi legate între ele, la capete, prin inele metalice frontale care le scurtcircuitează. Ansamblul format de bare şi de inelele frontale prezintă forma unei colivii de veveriţă, de unde şi denumirea de rotor în colivie (figura 4.6.2).

În figura 4.6.2 au fost prezentate cîteva forme de crestături uzuale ale rotoarelor de maşini asincrone.

În figura 4.6.2 b este redată, vederea generală în secţiune a unui motor asincron *BBC* cu rotor în scurtcircuit cu bare de aluminiu.

Regimuri de funcţionare a maşinii asincrone. Cîmpul magnetic învîrtitor produs de stator se roteşte cu turaţia constantă n_0, turaţie de sincronism, dată de relaţia

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p}$$

Rotorul se roteşte cu viteza n, care variază în funcţie de sarcina maşinii, fiind diferită de viteza de sincronism, motiv pentru care aceste maşini au fost numite „asincrone". Raportul

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \tag{4.6.2}$$

Se numeşte alunecare. De regulă, alunecarea se exprimă în procente, astfel încît relaţia (4.6.2), devine

$$s\,[\%] = \frac{n_0 - n}{n_0} 100$$

Viteza rotorului în funcţie de viteza sincronă este:

$$n = n_0\,(1 - s) \tag{46.3}$$

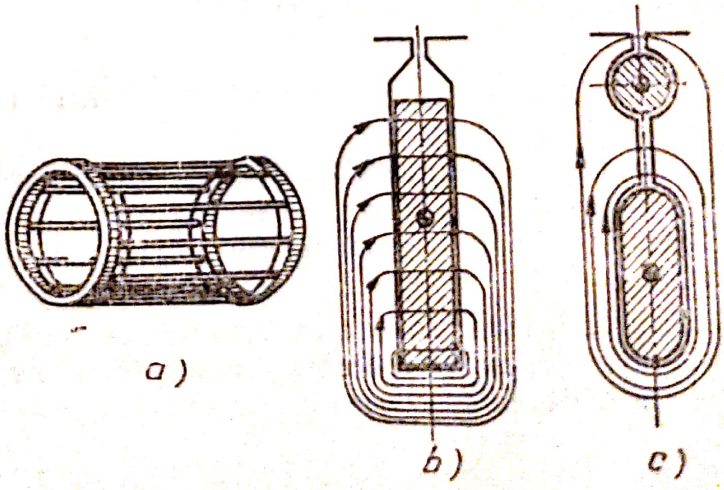


Fig. 4.6.2.
a — rotor în scurtcircuit; *b* — rotor cu bare înalte; *c* — rotor dublă colivie.

Scanned with OKEN Scanner

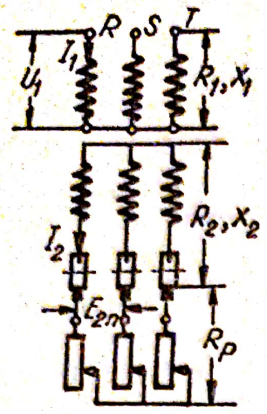


Fig. 4.6.3. Schema electrică a motorului asincron cu inele; R_p — rezistenţa exterioară a rotorului, R_2 — rezistenţa unei faze a rotorului; R_1 — rezistenţa unei faze statorice; X_2 — reactanţa unei faze rotorice; X_1 — reactanţa unei faze statorice.

În funcţie de valoarea alunecării maşina asincronă poate funcţiona în următoarele regimuri de lucru:

a) motor, cu $n_0 > n$ şi $s = 0 \div 1$;

b) transformator static cu $s = 1$ şi $n = 0$ (rotorul oprit);

c) generator asincron, cînd rotorul este învîrtit de o maşină primară cu viteză suprasincronă ($n > n_0$, $s < 0$);

d) frînă electromagnetică, la antrenarea rotorului în sens invers rotirii cîmpului, cînd maşina absoarbe energie electrică de la reţea şi mecanică de la motorul de antrenare; alunecarea este $s > 1$;

e) convertizor de frecvenţă; antrenînd rotorul cu o viteză anumită, acesta va debita curenţi cu o frecvenţă corespunzătoare vitezei de antrenare.

4.6.2. **Motorul asincron.** *a) Funcţionare. T.e.m. indusă în înfăşurări. Curentul în rotor.* Maşina asincronă este utilizată pe scară largă ca motor asincron la acţionarea maşinilor. Schema electrică a unui motor asincron cu înele este indicată în figura 4.6.3. Viteza de rotaţie a cîmplui învîrtitor, creat de stator, corespunde frecvenţei de alimentare: $n_0 = \frac{60 f_1}{p}$.

Acest cîmp învîrtitor induce curenţul I_2 în înfăşurarea rotorică, din a cărui interacţiune cu cîmpul învîrtitor Φ rezultă cuplul de rotaţie a maşinii.

Rotorul se învîrteşte cu o turaţie mai mică decît aceea a cîmpului învîrtitor, deci alunecarea este pozitivă, cuprinsă între valoarea $s = 1$, cînd rotorul este oprit şi $s = 0$, cînd rotorul are aceeaşi viteză cu cîmpul. Alunecarea, adică rămînerea în urmă a rotorului motorului faţă de cîmp creşte cu sarcina.

Tensiunea electromotoare indusă de cîmpul învîrtitor într-o fază a statorului se determină cu relaţia:

$$E_1 = 4{,}44\, \xi_1 f_1 w_1 \Phi \qquad (4.6.4)$$

în care w_1 este numărul de spire pe fază a statorului, iar ξ_1 este factorul de înfăşurare, prin care se ţine seamă de pasul înfăşurării şi de mărimea zonei ocupate pe periferia statorului, care influenţează asupra mărimii t.e.m. induse.

Rotorul învîrtindu-se cu viteza n în cîmpul magnetic ce se roteşte cu viteza n_0, funcţionarea are loc ca şi cum rotorul ar fi nemişcat iar fluxul Φ s-ar roti faţă de el cu viteza

$$n_1 = n_0 - n \qquad (4.6.5)$$

Prin urmare frecvenţa t.e.m. indusă în înfăşurarea rotorului este proporţională cu alunecarea

$$f_2 = \frac{p(n_0 - n)}{60} = \frac{pn_0}{60} \cdot \frac{n_0 - n}{n_0} = f_1 s \tag{4.6.6}$$

unde f_1 este frecvenţa tensiunii de alimentare.

Tensiunea electromotoare indusă în rotor la alunecarea s este:

$$E_{2s} = 4{,}44\, \xi_1 f_2 w_2 \Phi = 4{,}44\, \xi_2 s f_1 w_2 \Phi \tag{4.6.7}$$

unde ξ_2 este factorul de înfăşurăre al rotorului, iar w_2 numărul de spire pe fază a rotorului.

La pornire, cînd rotorul este oprit $s = 1$, $f_2 = f_1$, iar t.e.m. indusă este

$$E_{2s} = 4{,}44\, \xi_2 f_1 w_2 \Phi \tag{4.6.8}$$

de unde rezultă egalitatea $E_{2s} = sE_2$ (4.6.9)

adică t.e.m. în rotorul în rotaţie este egală cu t.e.m. E_2 din cazul rotorului fix înmulţită cu alunecarea.

Reactanţa rotorului în repaus este $X_2 = 2\pi f_1 L_2$, unde L_2 este inductanţa unei înfăşurări de fază datorită fluxului secundar de scăpări.

Prin urmare reactanţa rotorului în rotaţie este:

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f s L_2 = X_2 s \tag{4.6.10}$$

adică reactanţa înfăşurării rotorice în cazul rotaţiei sale este egală cu reactanţa rotorului în repaus, înmulţită cu alunecarea.

Pentru a trasa schema echivalentă a motorului asincron se raportează parametrii înfăşurării secundare la numărul de spire ale înfăşurării inductoare. Raportarea se face pe baza rapoartelor dintre cele două tensiuni electromotoare, cînd rotorul este calat şi cu înfăşurarea deschisă şi dintre cei doi curenţi, cînd rotorul este în scurtcircuit.

Deci rezistenţele R_2' şi reactanţa X_2' raportate la stator, au expresiile:

$$R_2' = k_r R_2 \tag{4.6.11}$$

$$X_2' = k_r X_2 \tag{4.6.12}$$

Coeficientul de transformare k_r, se exprimă prin relaţia:

$$k_r = \frac{m_1}{m_2}\left(\frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{\xi_1}{\xi_2}\right) = \frac{m_1}{m_2} k_e^2 \tag{4.6.13}$$

unde m_1 şi m_2 reprezintă numărul fazelor statorului, respectiv rotorului.

Factorul K_e este dată de relaţia:

$$K_e = \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{E_1}{E_{2n} \cdot \sqrt{3}} \cong \sqrt{3}\, \frac{U_1}{E_{2n}} \tag{4.6.14}$$

Intensitatea curentului în rotor este:

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{Z_{2s}} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + sX_2^2}} \qquad (4.6.15)$$

unde Z_{2s} este impedanţa unei faze a rotorului la alunecarea s, R_2 este rezistenţa ei.

b) Puterea şi pierderile în motor. Randamentul. Să urmărim procesul transformării energiei electrice absorbite de motor în energie mecanică pe arbore presupunînd că viteza $n = \text{ct.}$

Puterea absorbită de motor din reţea este

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \qquad (4.6.16)$$

unde $\cos \varphi_1$ este factorul de putere al unei faze a statorului, iar U_1 şi I_1 sînt mărimi de fază ale lui. O parte din această putere $p_{Cu_1} = mR_1 I_1^2$, se consumă pentru acoperirea pierderilor în cuprul statorului, iar restul se transformă în puterea fluxului învîrtitor. Datorită fenomenului histerezis şi curenţilor turbionari, în maşină apar pierderi în fierul statorului p_{Fe_2} (şi în fierul rotorului p_{Fe_2}, care se neglijează din cauza frecvenţei mici a rotorului) aproximativ constante cu sarcina. În felul acesta puterea electromagnetică este

$$P = P_1 - p_{Cu_1} - p_{Fe_1} \qquad (4.6.17)$$

Puterea electromagnetică se transmite prin întrefierul rotorului. Dacă în rotor nu ar exista pierderi, atunci puterea electromagnetică s-ar transforma în întregime în energie mecanică. Dar prin circulaţia curenţilor au loc pierderi în cupru sau aluminiu $p_{Cu_2} = w_2 \cdot R_2 I_2^2$.

Pentru simplificare, considerăm înfăşurarea de cupru. Prin urmare puterea mecanică totală dezvoltată de motor pe arbore este $P_{mec} = P - p_{Cu_2}$.

Puterea mecanică utilă a motorului P_2 este mai mică decît puterea mecanică P_{mec}, cu valoarea pierderilor mecanice p_{mec} şi a pierderilor suplimentare p_{supl}. Pierderile p_{supl}. iau naştere prin rotirea motorului, în înfăşurările şi fierul maşinii şi sînt determinate de faptul că statorul şi rotorul sînt dinţate iar t.m.m. nu sînt repartizate în întregime sinusoidal în spaţiu.

$$P_2 = P_{mec} - (p_{mec} + p_{supl.}). \qquad (4.6.18)$$

Randamentul motorului se poate determina prin metoda directă cu ajutorul relaţiei

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \qquad (4.6.19)$$

măsurînd puterea absorbită P_1 cu wattmetrul şi puterea utilă cu o frînă.

Randamentul se poate determina şi prin metoda pierderilor separate, care este mai precisă, cu ajutorul relaţiei

$$\eta = \frac{P_1}{P_2 + \Sigma p} = \frac{p_2 - \Sigma p}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1} \qquad (4.6.20)$$

determinîndu-se separat pierderile la puterea la care se calculează randamentul. La proiectare, randamentul se fixează să fie maxim pentru puterea utilă cu care motorul are funcţionare de durată maximă.

c) Schema echivalentă a motorului asincron. Presupunem că statorul maşinii asincrone este legat la reţeaua de tensiune U_1 şi frecvenţă constantă $f_1 = \text{ct.}$ Fluxul principal rotindu-se cu viteza $n_0 = \frac{60 f_1}{p} \text{ ct.}$, produce în înfăşurarea statorului t.e.m. principală E_1. În afară de acesta, mai apare în stator şi t.e.m. de scăpări $E_{S_1} = \mathrm{j} I_1 X_1$ precum şi căderea de tensiune datorită rezistenţei a statorului, $E_{R1} = -I_1 r_1$, care împreună cu t.e.m. E_1 echilibrează tensiunea U_1.

Astfel ecuaţiile t.e.m. pentru stator se scrie:

$$U_1 = -E_1 \, I \, R_1 I_1 + \mathrm{j} X_1 I_1 = -E_1 + I_1 Z_1 \qquad (4.6.21)$$

Din relaţia (4.6.15) rezultă următoarea ecuaţie a rotorului

$$E_2' = \frac{R_2}{s} I_2 + \mathrm{j} X_2 I_2 = Z_2 I_2$$

în care $Z_2 = \frac{R_2}{S} + \mathrm{j} X_2$ este impedanţa echivalentă a mărimii complexe a rotorului în sarcină. Dacă rotorul este raportat la stator atunci

$$E_2' = I_2' Z_2' \qquad (4.6.22)$$

Pentru determinarea t.m.m. învîrtitoare rezultantă se pleacă de la expresia generală a amplitudinii t.m.m. al unei înfăşurări m-fazate

$$F = 0{,}9 \, mk \, w \, I$$

în care k reprezintă factorul de înfăşurări şi w — numărul de spire pe fază.

În sarcină, curentul I_1 al maşinii asincrone produce o t.m.m. învîrtitoare statorică.

$$F_1 = 0{,}9 \, m_1 \, k_1 \, w_1 \, I_1$$

iar curentul I_2 a t.m.m. învîrtitoare rotorică

$$F_2 = 0{,}9 \, m_2 k_2 w_2 I_2$$

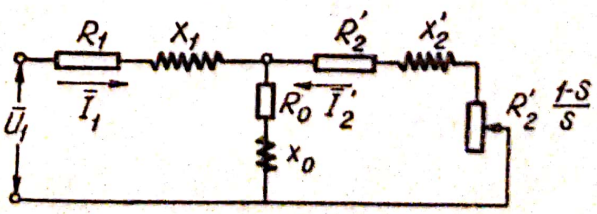


Fig. 4.6.4. Schema echivalentă a motorului asincron.

Cele două t.m.m. F_1 și F_2, avînd aceeași turație n_0, se compune într-o t.m.m. rezultantă care produce fluxul inductor principal, fluxul util de sarcină Φ al mașinii. Fluxul Φ fiind practic același ca și la funcționarea în gol, cînd $I_2 = 0$ și $I_1 = I_0$ deci $F_0 = 0{,}9 \cdot m_1 k_1 w_1 I_0$, rezultă că vom avea

$$F_1 + F_2 = F_0 \tag{4.6.23}$$

sau

$$0{,}9\ m_1 k_1 w_1 I_1 = 0{,}9\ m_2 k_2 w_2 I_2 = 0{,}9\ m_1 k_1 w_1 I_0 \tag{4.6.23b}$$

Împărțind ambii membrii ai relației (4.6.23b) cu $0{,}9\ m_1 k_1 w_1$, se obține

$$I_1 + I_2 = \frac{m_2 k_2 w_2}{m_1 k_1 w_1} = I_0$$

sau

$$I_1 + I_2' = I_0 \tag{4.6.23c}$$

în care $I_2' = I_2 \frac{m_2 k_2 w_2}{m_1 k_1 w_1}$ este curentul rotorului raportat la stator.

În ecuația curenților (4.6.23c) ca și la transformator, curentul I_1 absorbit din rețea are două componente: una dată de curentul în gol I_0, constantă, fiind practic independentă de sarcină, iar cealaltă I_2 variabilă cu sarcina.

Uneori este mai comod să avem de-a face cu o schemă electrică echivalentă a mașinii asincrone, decît cu o mașină asincronă reală, compusă dintr-un sistem de două circuite cuplate electromagnetic. Pentru aceasta vom utiliza ecuațiile de funcționare a mașinii asincrone pentru cele două înfășurări (4.6.21), (4.6.22) și ecuația curenților (4.6.23c) rezolvîndu-le în raport cu I_1, care se exprimă prin tensiunea U_1.

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{U}_1}{Z_1 + \dfrac{1}{\dfrac{1}{Z_0} + \dfrac{1}{Z_2'}}} = \frac{\bar{U}_1}{R_1 + jX_1 + \dfrac{1}{\dfrac{1}{R_0 + fX_0} + \dfrac{1}{\dfrac{R_2'}{s} + jX_2'}}}. \tag{4.6.24}$$

Schema echivalentă corespunzătoare acestei ecuații este reprezentată în figura 4.6.4.

Ținînd seama de relațiile din această figură, obținem pentru curentul din rotor, raportat la stator, relația

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + C_1 \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + C_1 X_2')^2}} \tag{4.6.25}$$

în care s-a notat

$$C_1 = 1 + \frac{Z_1}{Z_0} = 1 + \frac{X_1}{X_0}.$$

Puterea electromagnetică a mașinii asincrone este dată de relația

$$P = M\Omega_0 = M\frac{2\pi n_0}{60}. \tag{4.6.26}$$

În regim de funcționare ca motor, puterea mecanică a mașinii, care se învîrtește cu viteza unghiulară Ω, este

$$P_{mec} = M\Omega = M\frac{2\pi n}{60}. \tag{4.6.27}$$

Din relația (4.6.18) rezultă că

$$p_{Cu_2} = P - P_{mec} = M(\Omega_0 - \Omega) = M2\pi\frac{n_0 - n}{60} = M\,2\pi\,n_0\frac{n_0 - n}{60n_0}$$

sau

$$P_{Cu_2} = sM\Omega_0 = sP \tag{4.6.29}$$

Prin urmare pierderile p_{Cu_2} din înfășurarea rotorului, sînt proporționale cu alunecarea s.

Formula generală a cuplului M a motorului asincron este

$$M = \frac{p_{Cu_2}}{s\Omega_0} = \frac{m_1 R_2' I_2'^2}{s\,\Omega_0} = \frac{m_1\frac{R_2'}{s}I_2'^2}{\Omega_0}. \tag{4.6.30}$$

Înlocuind în formula (4.6.31) curentul I_2' prin valoarea sa dată de relația (4.6.26) se obține:

$$M = \frac{mp\,U_1^2\,\frac{R_2'}{s}}{\Omega_0\left[\left(R_1 + C_1\frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + C_1X_2')^2\right]}. \tag{4.6.31}$$

d) Caracteristica mecanică. Relația (4.6.31) are o însemnătate foarte mare. La prima analiză considerăm constante toate mărimile, cu excepția alunecării s, deoserece unele dintre ele sînt constante constructive iar altele, U_1 și f_1, sînt ale rețelei.

Pentru găsirea cuplului maxim se face derivata lui $\frac{dM}{dt} = 0$ lăsînd la o parte operațiile intermediare.

$$s_k = \frac{C_1 R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + C_1X_2')^2}}. \tag{4.6.32}$$

Introducînd valoarea lui S_k în relația 4.6.31

$$M_k = \pm\frac{1}{2C_1}\cdot\frac{m\cdot p\cdot U_1^2}{2\pi f_1\cdot[R \pm (X_1 + C_1X_2')^2]} \tag{4.6.33}$$

Scanned with OKEN Scanner

Formula se poate simplifica neglijînd R_1 deoarece nu depăşeşte 5% din suma $(X_1 + C_1X_2)^2$

$$S_k = \frac{C_1 \cdot R_2'}{X_1 + C_1 X_2'} \cong \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} \tag{4.6.34}$$

rezultă

$$M_k = \pm \frac{1}{2C_1} \cdot \frac{m \cdot p \cdot U_1^2}{2\pi f_1 \cdot [R_1 \pm (X_1 + C_1 X_2')]} \tag{4.6.35}$$

Rezultă că cuplul maxim M_k: este proporţional cu patratul tensiunii; nu depinde de rezistenţa circuitului rotoric; se obţine pentru o alunecare cu atît mai mare, cu cît este mai mare raportul $\frac{C_1 R_2'}{X_1 + C_1 X_2'}$

Valoarea $\lambda = \frac{M_k}{M_n}$ se numeşte cuplu de răsturnare.

Uneori este necesar să se poată construi relaţia $M = f(s)$ pentru motor cu ajutorul alunecării critice s_k şi al cuplului maxim M_k ale căror valori se găsesc în cataloagele firmelor constructoare sau în îndreptarele tehnice.

Făcînd raporturile dintre cuplul M, corespunzătoar unei valori oarecare a lunecării şi valoarea sa M_k corespunzător alunecării s_k expresia

$$\frac{M}{M_k} = \frac{2C_1R_2'[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + C_1X_2')^2}]}{s[(R_1 + C_1R_1')^2 + (X_1 + C_1X_2')^2]}$$

Din relaţia (4.6.32) rezultă $\frac{C R_2'}{s_k} = \sqrt{R_1^2 (X_1 + C_1X_2')^2}$

Prin urmare se obţine expresia

$$\frac{M}{M_k} = \frac{2C_1 R_2' \left(R_1 + \frac{C_1 X_2'}{s_k}\right)}{\frac{s(C_1 R_2')^2}{s_k^2} + \frac{(C_1 R_2')^2}{s} + 2C_1R_1R_2'} = \frac{2\left(1 + \frac{R_1}{C_1 R_2'} s_k\right)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2\frac{R_1}{C_1 R_2} S_k}$$

Dacă se notează cu $\varepsilon = \frac{R_1}{C_1 R_2} s_k$ (4.6.26)

se ajunge la forma

$$\frac{M}{M_k} = \frac{2 + \varepsilon}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + \varepsilon} \tag{4.6.37}$$

Această formă a expresiei analitice a caracteristicii mecanice este mai simplă decît prima formă şi de aceea se utilizează mai des.

Petru simplificarea caracteristicii se admite că rezistenţa înfăşurării inductoare R_1 este neglijabilă faţă de rezistenţa raportată a înfăşurării rotorice R_2' şi se consideră $C \cong 1$. Erorile introduse de această ipoteză nu

Tabela 4.6.1.

Caracteristicile mașinii asincrone

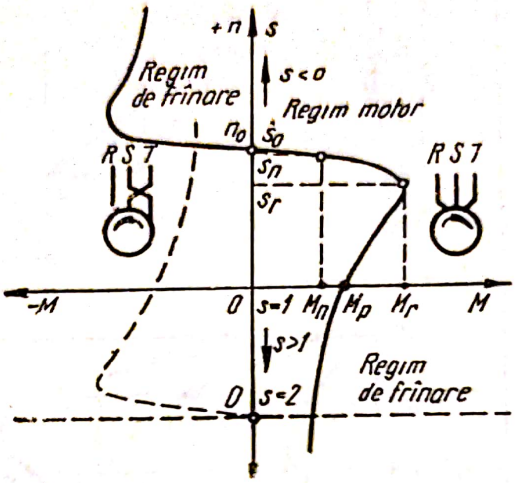
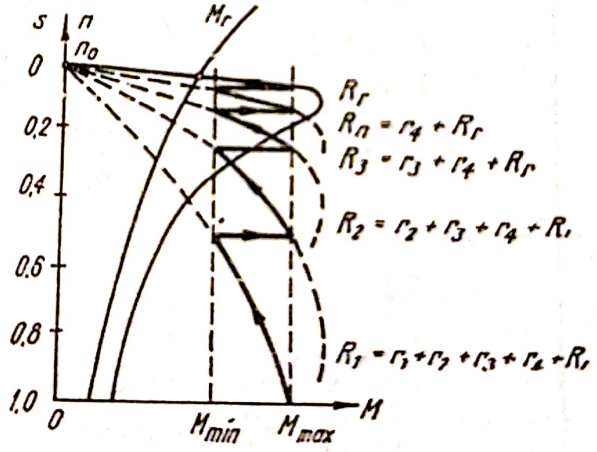
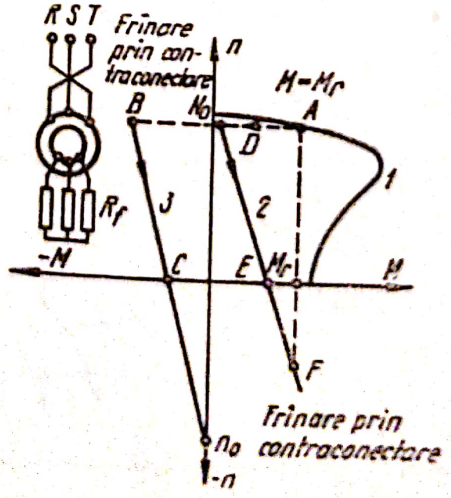
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
0	1	2	3
1	Caracteristici mecanice		Caracteristicile mecanice în funcție de alunecare
			Caracteristicile mecanice $M = f(s)$ pentru diferite valori ale rezistenței
			Caracteristici la frînarea prin contraconectare

Tabela 4.6.1. (continuare)

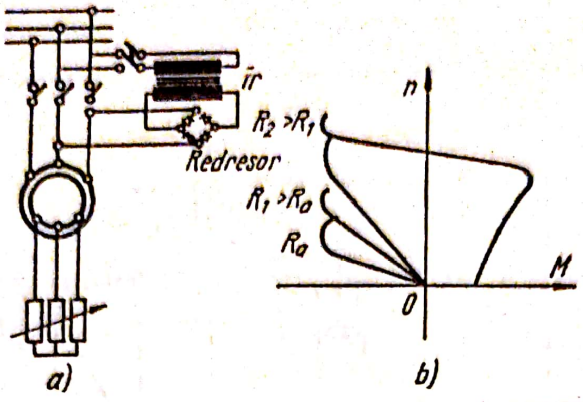
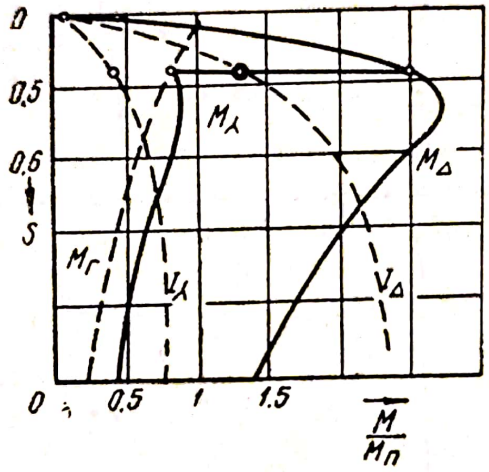
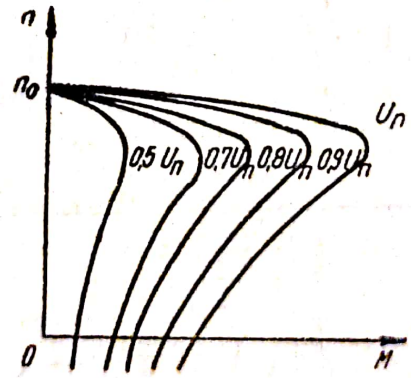
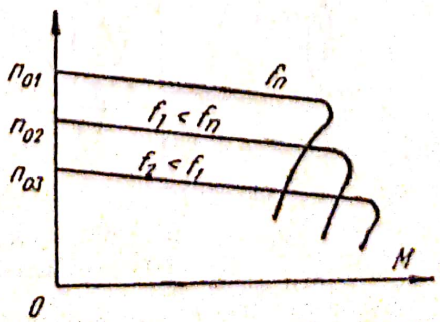
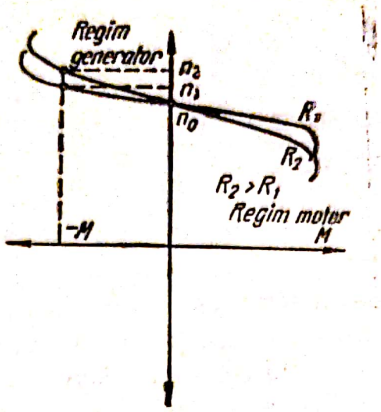
0	1	2	3
			*a)* — schema de conectare la frînarea dinamică ; *b)* — caracteristici la frînarea dinamică
			Caracteristicile mecanice la pornire în stea triunghi
2	Caracteristici de reglare a turaţiei		Caracteristici mecanice artificiale obţinute prin variaţia tensiunii
			Caracteristici mecanice artificiale, obţinute prin variaţia frecvenţei

Tabela 4.6.1. (continuare)

0	1	2	3
3	Caracteristici mecanice de frînare		Caracteristici la frînare prin recuperare

depăşesc valorile admisibile, chiar pentru motoarele de puteri mici. Cu această nouă ipoteză se obţine expresia cea mai simplă şi mai folosită a caracteristicii mecanice naturale a motorului.

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \qquad (4.6.38)$$

Dînd alunecării s diferite valori se obţine curba $M = f(s)$ din tabela 4.6.1.

Punctul critic (s_k, M_k) are o mare însemnătate, deoarece determină cuplul maxim cu care poate fi încărcată maşina. Între $s = 0$ şi $s = s_k$ este domeniul stabil de funcţionare. Pentru $s > s_k$, o creştere a cuplului rezistent duce la micşorarea vitezei, ceea ce produce oprirea dispozitivului.

Un alt punct de funcţionare important este acela care indică situaţia de pornire $s = 1$, $M = M_p$.

Caracteristica mecanică naturală a motorului asincron se poate determina pe baza expresiei 4.6.38 cu ajutorul următoarelor date din catalog: P_n, n_n, n_0, $\lambda = \frac{M_k}{M_n}$.

e) Pornirea motoarelor asincrone. Consideraţiuni generale. După puterea şi tipul constructiv al rotorului (cu inele sau în scurt circuit) avem următoarele metode de pornire a motoarelor asincrone:

— pornirea cu reostat în circuitul rotorului utilizată la motoarele cu rotor bobinat (cu inele); — conectarea directă la reţea şi — pornirea prin reducerea tensiunii aplicată înfăşurării statorului.

Factorii care limitează pornirea directă a motoarelor asincrone sînt:

— curentul mare de pornire, absorbit în momentul pornirii;

— scărderea tensiunii la bornele motorului în momentul pornirii.

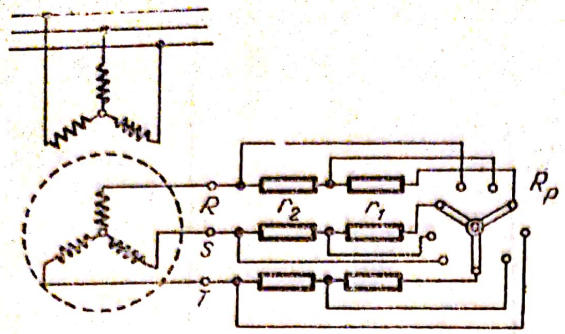


Fig. 4.6.5. Schema electrică a motorului asincron cu inele.

Pornirea motoarelor asincrone cu inele (fig. 4.6.5)

Reostatele de pornire au ca scop, pe de o parte să micşoreze curentul de pornire la o valoare convenabilă pentru reţeaua la care este cuplat motorul, iar pe de altă parte să mărească cuplul de pornire.

Deoarece alunecarea de răsturnare s_k depinde de rezistenţa circuitului rotoric (4.6.32), prin conectarea în serie cu fazele rotorice a unor rezistenţe exterioare se pot obţine caracteristici artificiale $M = f(s)$, ca în tabela 4.6.1/1. La aceleaşi cupluri, raportul dintre alunecările pe o caracteristică artificială şi pe o caracteristică naturală este:

$$\frac{s_x}{s} = \frac{R'_r + r'_e}{R'_r} = \frac{R_r + r_e}{R_r} \qquad (4.6.39)$$

unde r'_e este rezistenţa exterioară raportată la stator.

Expresia (4.6.39) stă la baza calculării reostatului de pornire a motorului asincron cu rotor bobinat.

Motorul porneşte pe caracteristica corespunzătoare rezistenţei R_1, după un timp de funcţionare trece pe caracteristica dată de rezistenţa R_2, şi aşa mai departe, pînă se ajunge pe caracteristica naturală R_r.

Pe fiecare treaptă de rezistenţă ca şi la motorul derivaţie, cuplul motor variază între două limite M_{max} şi M_{min} asigurîndu-se un cuplu mediu de accelerare.

Pornirea motoarelor asincrone în scurtcircuit (în colivie).

În STAS 1764—63 sînt fixate valorile raportului $\frac{I_P}{I_n}$, dintre curentul de pornire şi cel nominal, pentru puteri cuprinse între 0,6 şi 100 kW. În funcţie de putere şi felul protecţiei motorului aceste valori variază între 6,5 şi 7.

Intensitatea curentului de pornire a motorului în scurtcircuit, poate fi redusă prin micşorarea tensiunii aplicate motorului în momentul pornirii. Reducerea tensiunii se face: a) prin pornirea stea-triunghi; b) prin introducerea între stator şi reţea a unei bobine de reactanţă sau a unui autotransformator.

Pornirea stea-triunghi. Se poate aplica motoarelor la care în funcţionare normală, fazele statorului sînt legate în triunghi. Schema de conectare este reprezentată în figura 4.6.6. În momentul pornirii se leagă fazele statorului

în stea și prin aceasta se obține un prim șoc de curent. După ce motorul a atins o turație anumită, se trece la legătura normală în triunghi. În tabela 4.6.1/1 este arătată caracteristica mecanică și variația cuplului la cuplare stea-triunghi.

Din electrotehnică se cunoaște că la legarea statorului în stea curentul de pornire s-a micșorat de 3 ori față de triunghi, la fel și cuplul.

La pornirea cu ajutorul unei rezistențe sau reactanțe, montată în circuitul statorului se folosește schema de conectare reprezentată în figura 4.6.7.

Pornirea prin autotransformator. Se poate folosi schema din figura 4.6.8. Instalația este costisitoare, de aceea se folosește la motoare de putere mare.

f) Reglajul turației motoarelor asincrone cu inele. Ținînd seamă de relațiile (4.6.1) și (4.6.2), turația motorului se poate scrie sub forma

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p} (1 - s) \text{ rot/min} \qquad (4.6.40)$$

în care: f_1 reprezintă frecvența tensiunii de alimentare, în Hz; p — numărul perechilor de poli ai bobinajului statoric; s — alunecarea.

Din această expresie rezultă că turația motorului asincron poate fi reglată prin următoarele procedee: — schimbarea numărului de perechi de poli; — variația frecvenței tensiunii statorice de alimentare și — variația alunecării s.

Acest din urmă procedeu are două variante, după cum variația alunecării se face: 1 — cu ajutorul unei rezistențe reglabile introduse în circuitul rotoric

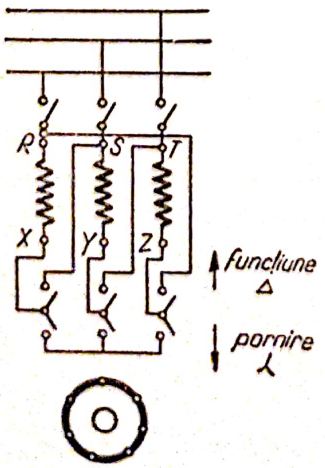


Fig. 4.6.6. Schema de conectare a motoarelor asincrone la pornirea în stea triunghi.

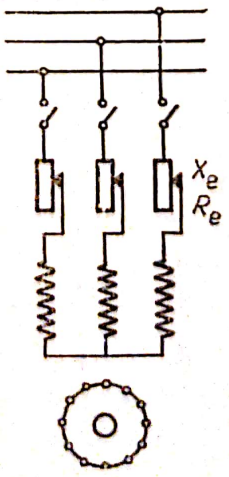


Fig. 4.6.7. Schema de pornire cu rezistență sau reactanță în circuitul statorului.

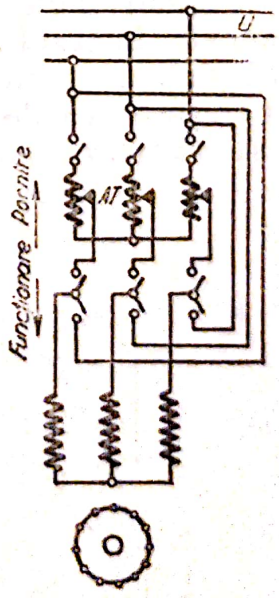


Fig. 4.6.8. Schema de pornire prin autotransformator.

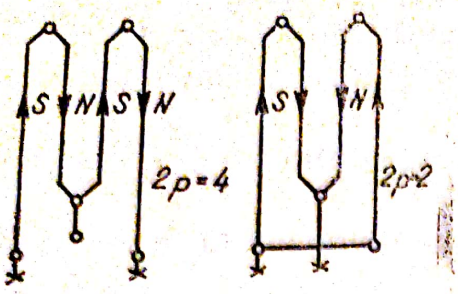


Fig. 4.6.9. Principiul comutării numărului de poli ai unui motor asincron.

al motorului; 2 — prin introducerea în circuitul rotorului a unei t.e.m. auxiliare, de aceeaşi frecvenţă ca şi t.e.m. a rotorului, utilizînd aşa numitul montaj în cascadă.

Reglajul turaţiei prin schimbarea numărului de perechi de poli. Schimbarea numărului de perechi de poli se face aşezînd pe stator o singură înfăşurare şi variind legăturile (în serie sau paralel) dintre elementele componente, identice ale acesteia (fig. 4.6.9.) Dacă rotorul motorului este bobinat, schimbarea numărului de perechi de poli trebuie să se facă simultan în stator şi în rotor, ceea ce complică considerabil construcţia motorului. De aceea, acest procedeu se aplică în special motoarelor în colivie, la care rotorul ia automat acelaşi număr de poli ca al statorului. Prin conectarea celor două părţi în paralel se obţine un număr înjumătăţit de poli faţă de cazul legăturii în serie, ceea ce duce la dublarea vitezei sincrone (figura 4.6.10. *a*).

Practic, schimbarea numărului de perechi de poli se obţine prin schimbarea legăturilor din înfăşurarea statorului după schema din figura 4.6.10 sau figura 4.6.11. În figura 4.6.10 trecerea se face de la montajul în stea simplă la montajul în stea dublă. În figura 4.6.11 se face trecerea de la montajul în triunghi la montajul în stea dublă. Schemele intermediare arată modul cum se face trecerea de la montajul în stea dublă.

Trecerea de la montajul în stea simplă la cel în stea dublă este indicat să se folosească pentru reglajul de viteză la cuplu constant, caracteristicile mecanice fiind indicate în figura 4.6.10 a.

Într-adevăr, în cazul montajului în stea dublă, puterea absorbită de motor datorită dublării curentului, devine de două ori mai mare. Viteza motorului creşte şi ea de două ori, astfel încît cuplul dezvoltat pe arborele motor se păstrează constant.

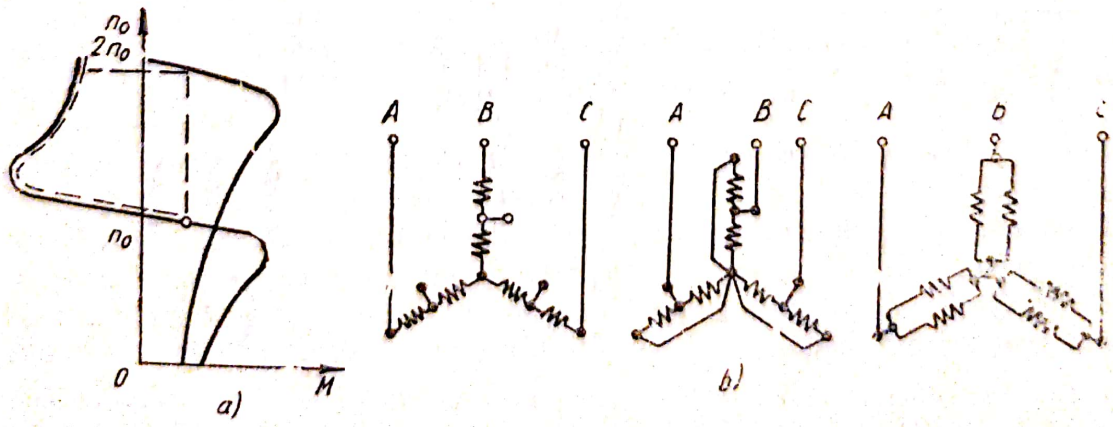


Fig. 4.6.10.

a — Caracteristicile mecanice; *b* — Montajul de la stea simplă la montajul în stea dublă.

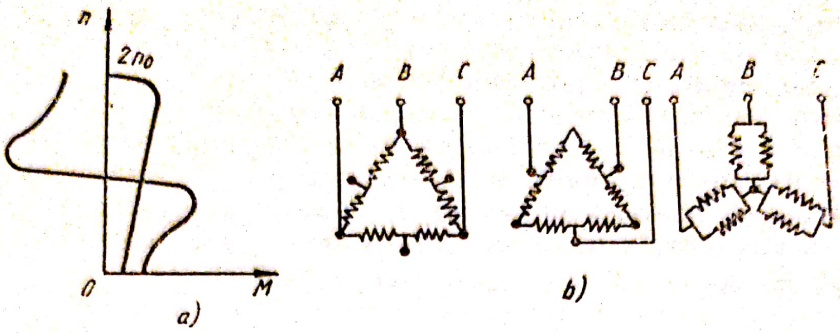


Fig. 4.6.11.
a — Caracteristicile mecanice; *b* — trecerea de la montajul în triunghi la montajul în stea dublă.

Trecerea de la o viteză mai mare la o viteză mai mică, se face prin funcționarea motorului în regim generator cu recuperare de energie.

Reglajul vitezei la putere constantă se poate obține cu ajutorul trecerii de la montajul în triunghi, la montajul în stea dublă. Caracteristicile mecanice ale motorului cu două viteze care se reglează la putere constantă sînt redate în figura 4.6.11 a.

Reglajul turației motoarelor asincrone prin variația tensiunii și frecvenței de alimentare. Această metodă de reglaj necesită instalarea unor grupuri de mașini.

Se poate obține în acest caz un reglaj lent al turației în limite foarte largi. Asemenea agregate scumpesc instalația, de aceea această metodă de reglaj se aplică numai în cazuri speciale

$$s_k = \pm \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} = \frac{R_2'}{2\pi f_1 \cdot (L_1 + L_2')} \tag{4.6.41}$$

$$M_k = \pm \frac{mpU_1^2}{2C_1 2\pi f_1 [R_1 + (X_1 + C_1 X_2')} \cong \pm \frac{mpU_1^2}{2C_1 \cdot 2\pi f_1 \cdot 2\pi f_1 (L_1 + L_2')} \tag{4.6.42}$$

Din aceste relații rezultă că M_k este proporțional cu U^2 și invers proporțional cu pătratul frecvenței, iar alunecarea critică nu depinde de tensiune și variază invers proporțional cu frecvența.

Făcînd raportul a două cupluri critice, corespunzătoare la două tensiuni și frecvențe de alimentare se obține :

$$\frac{M_{k1}}{M_{k2}} = \frac{U_1^2}{U_2^2} \tag{4.6.43}$$

$$\frac{M_{k1}}{M_{k2}} = \frac{f_2^2}{f_1^2} \quad \text{și} \quad \frac{s_{k1}}{s_{k2}} = \frac{f_2}{f_1} \tag{4.6.44}$$

Caracteristicile artificiale sînt reprezentate în tabela 4.6.1.

Din analiza caracteristicilor mecanice artificiale obţinute numai prin variaţia tensiunii (tab. 4.6.1), se poate vedea că limitele de reglaj sînt relativ mici, iar rigiditatea caracteristicilor scade odată cu micşorarea tensiunii. De asemenea, cuplul critic al motorului fiind direct proporţional cu pătratul tensiunii de alimentare, micşorarea tensiunii poate duce la micşorarea siguranţei în funcţionare şi chiar la oprirea motorului. În practică, uneori se foloseşte metoda de reglaj al vitezei prin variaţia simultană a tensiunii şi a frecvenţei. Se modifică tensiunea şi frecvenţa astfel încît raportul $\frac{U}{f}$ să fie constant, ceea ce determină un flux inductor constant.

Reglajul vitezei motorului asincron prin variaţia rezistenţei în circuitul rotorului. Prin variaţia rezistenţei rotorice, se obţine un reglaj de viteză în sens coborîtor ca în tabela 4.6.1. Dacă rezistenţa de pornire este larg dimensionată, ea poate fi folosită şi pentru modificarea turaţiei (figura 4.6.5). Continuitatea reglajului depinde de numărul treptelor de reglaj.

Dezavantajul principal al acestei metode de reglaj constă în aceea că pierderile de energie sînt ridicate.

Pentru reglarea turaţiei motorului asincron în scurtcircuit se pot folosi metodele indicate la motorul asincron cu inele, pentru care nu sînt necesare modificări în circuitul rotorului.

g) Frînarea motoarelor asincrone. Se vor expune caracteristicile mecanice corespunzătoare celor mai frecvente regimuri de frînare ale motorului asincron trifazat.

Frînare ca generator cu recuperare (suprasincronă). Motorul asincron antrenat la o viteză superioară vitezei de sincronism trece în regim generator asincron, alunecarea devenind negativă: $s = \frac{n_0 - n}{n_0} < 0$. Caracteristica mecanică este arătată în tabela 4.6.1/3. Această metodă de frînare nu permite oprirea motorului şi de aceea se asociază cu alte procedee de frînare.

a) Frînarea prin contarcurent (conexiuni contrare). Dacă rotorul motorului ascincron se roteşte în sens contrar cîmpului învîrtitor, regimul de frînare este denumit regim de contraconectare.

Din expresia alunecării: $\left(s_f = \frac{n_0 + n}{n_0} = \frac{n_0 + n_0(1 - s)}{n_0} = 2 - s\right)$ rezultă două posibilităţi de a obţine regimul de cuplare inversă:

a — prin schimbarea între ele a două faze de alimentare a statorului (tab. 4.6.1), introducînd concomitent o rezistenţă R_f mare în rotor (de exemplu corespunzătoare caracteristicii 3). Punctul de funcţionare va trece din A în B. Prin comutarea a două faze din stator am inversat sensul de rotaţie a cîmpului inductor, dar sensul de rotaţie a maşinii, datorită inerţiei sistemului, se mai păstrează cel anterior. Maşina dă un sistem de frînare puternică, care duce la oprirea sistemului.

b — Prin introducerea de rezistenţe în circuitul rotorului, astfel încît să se mărească înclinaţia caracteristicii $n = f(M)$, pînă cînd punctul de funcţionare este deplasat în domeniul turaţiilor negative (tab. 4.6.1 caracteristica 2).

Scanned with OKEN Scanner

Acest caz se întîlneşte la aparatele de ridicat, la coborîrea unei greutăţi prin frînarea în contracurent.

c — *Frînarea dinamică*. Această frînare se realizează prin separarea înfăşurării statorice de la reţeaua trifazată de alimentare şi prin conectarea a două faze la o sursă de curent continuu (tab. 4.6.1 *a*) . În stator se produce un cîmp magnetic fix, care induce în rotorul mobil trei tensiuni. Înfăşurarea rotorului fiind legată la rezistenţa exterioară, maşina funcţionează ca generator sincron a cărui turaţie descreşte. Energia cinetică a maselor care antrenează maşina se trasformă în căldură în rezistenţa circuitului rotoric. În tabela 4.6.1 *b*, se dau trei caracteristici mecanice corespunzătoare frînării dinamice, pentru trei rezistenţe diferite în rotor: $R_1 < R_2 < R_3$.

4.7. PRINCIPII GENERALE ALE ACŢIONĂRILOR ELECTRICE

Generalităţi. Prin sistem de acţionare se înţelege partea maşinii compusă din motor, aparate de comandă şi elementele mecanice care transmit mişcarea la organele maşinii de lucru.

Se numeşte sistem de acţionare electromecanică sistemul compus din: *1* — motorul electric *2* — aparatajul de comandă a motorului *3* — transmisiile mecanice, care leagă motorul electric cu organele maşinii de lucru.

Cel mai utilizat sistem de acţionare, constă în acţionarea individuală, printr-un motor instalat la maşina de lucru sau prin mai multe motoare care acţionează diferite mecanisme, în cazul agregatelor.

4.7.1. **Ecuaţia mişcării.** În timpul funcţionării unei maşini de lucru, forţele de frecare şi forţele utile ale mecanismului dau naştere, la arborele motorului electric, unui cuplu rezistent M_r.

Cînd arborele motorului electric se roteşte cu turaţie constantă, cuplul motor M dezvoltat de către motorul electric este egal şi de sens contrar cu cuplul rezistent M_r. Cînd cuplul M este mai mare decît M_r, turaţia începe să crească, iar în cazul cînd M_r este mai mare decît M, se produce o micşorare a turaţiei.

Dacă la un moment dat $M > M_r$ şi turaţia maşinii de lucru creşte, forţele de inerţie ale acestor elemente ale maşinii de lucru şi ale motorului, care au o mişcare accelerată, dau naştere la aşa numitul cuplu dinamic M_j, care este de asemenea opus cu cuplului M.

În consecinţă, se poate scrie egalitatea

$$M = M_r + M_j \tag{4.7.1}$$

sau, folosind expresia cuplului dinamic cunoscută din cursul de mecanică avem

$$M = M_r + J\frac{d\Omega}{dt} \tag{4.7.2}$$

Această expresie poartă numele de ecuaţia mişcării.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă acceleraţia este nulă rezultă $M_j = J\frac{d\Omega}{dt} = 0$ şi mişcarea poartă numele de mişcare permanentă sau de regim stabil. Pentru $\frac{d\Omega}{dt} \neq 0$, avem de-a face cu un proces tranzitoriu.

Pentru $\frac{d\Omega}{dt} > 0$, acţionarea se accelerează, iar pentru $\frac{d\Omega}{dt} < 0$, acţionarea se încetineşte.

În calcule se introduce de obicei în locul momentelor de inerţie, momentul de giraţie GD^2, iar în locul vitezei unghiulare, numărul de rotaţii pe minut.

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60}; \quad \frac{d\Omega}{dt} = \frac{\pi}{30} \cdot \frac{dn}{dt} \tag{4.7.3}$$

Momentul de inerţie J şi momentul de giraţie GD^2 fiind legate între ele prin relaţia cunoscută :

$$J = \frac{GD^2}{4g} \tag{4.7.4}$$

cuplul dinamic devine

$$J\frac{d\Omega}{dt} = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \tag{4.7.5.}$$

După înlocuirea în ecuaţia (4.7.2) avem

$$M = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} + M_r \tag{4.7.6}$$

Ecuaţia (4.7.6.) este valabilă în ipoteza că momentul de inerţie (de giraţie) este constant. Sînt însă mecanisme, care au o astfel de construcţie încît momentul unor piese în raport cu arborele motor îşi schimbă valoarea, în decursul unui ciclu de funcţionare ; cuplul dinamic al acestora are o expresie mai complicată.

Raportarea la arborele motorului a cuplurilor şi a momentelor de inerţie.

În majoritatea cazurilor practice, motorul este cuplat cu un mecanism executor care nu se află nemijlocit pe acelaşi ax, cuplajul realizîndu-se prin intermediul unui lanţ cinematic.

În cazul unei astfel de maşini, în ecuaţia mişcării scrisă pentru arborele motorului trebuie să intre cuplul static produs de mecanismul executor la arborele motorului, denumit cuplu static redus la arborele motorului şi de asemenea un moment dinamic la arborele motoarelor M_j, respectiv un moment de volant la acest arbore, al cărui efect să fie identic cu efectul tuturor momentelor de volant ale tuturor pieselor care compun lanţul cinematic. Un astfel de moment de volant fictiv se numeşte moment de volant redus la arborele motorului. Reducerea cuplurilor de la un arbore la altul şi a cuplului dinamic se bazează pe principiul egalităţii puterilor la ambii arbori, ţinînd seama de pierderile de putere în transmisia intermediară, respectiv pe baza principiului conservării energiei.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru acţionarea reprezentată în figura 4.7.1, cuplul rezistent raportat la arborele motorului are expresia

$$M_r = \frac{M_r'}{i\eta_t} \qquad (4.7.7.)$$

în care i este raportul total de transmisie:

$$i = \frac{n}{n_2} = \frac{n}{n_1} \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{n_2}{n_3} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \qquad (4.7.8.)$$

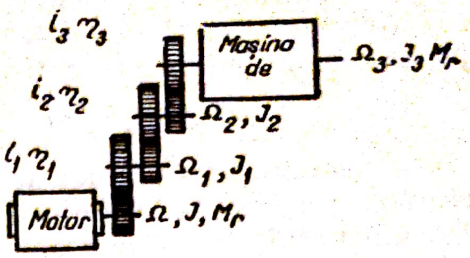


Fig. 4.7.1. Schema cinematică a unei transmisii cu roţi dinţate.

iar η_t reprezintă randamentul total al transmisiei

$$\eta_t = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \qquad (4.7.9.)$$

Dacă motorul este frînat, momentul de inerţie total, raportat la arborele motorului, este

$$J_t = J + J_1\left(\frac{\Omega_1}{\Omega}\right)^2 + J_2\left(\frac{\Omega_2}{\Omega}\right)^2 + \ldots + J_n\left(\frac{\Omega_n}{\Omega}\right)^2 \qquad (4.7.10.)$$

iar pentru momentul de giraţie total, raportat la arborele motorului, se obţine

$$GD_t^2 = GD^2 = GD_1^2\left(\frac{n_1}{n}\right)^2 + GD_2^2\left(\frac{n_2}{n}\right) + \ldots + GD_n\left(\frac{n_n}{n}\right)^2 \qquad (4.7.11)$$

Raportarea forţelor şi a momentelor de inerţie de la o mişcare de translaţie la una de rotaţie.

În anumite cazuri, multe piese componente ale mecanismului efectuează mişcări de translaţie, în timp ce altele au o mişcare de rotaţie. Dacă un mecanism execută o mişcare de translaţie, cu viteza v şi exercită forţa F_r, cuplul rezistent la arborele motorului, care se roteşte cu viteza unghiulară Ω va fi:

$$M_r = \frac{F_r \cdot v}{\Omega \cdot \eta_t} \qquad (4.7.12.)$$

Dacă J_t este momentul de inerţie echivalent, care la o viteză unghiulară, Ω, are aceeaşi energie cinetică ca şi masa m aflată în mişcare de translaţie cu viteza v, avem

$$J_t \frac{\Omega^2}{2} = \frac{mv^2}{2}$$

de unde rezultă

$$J_t = \frac{mv^2}{\Omega^2} = \frac{GD_t^2}{4g} \qquad (4.7.13)$$

sau

$$GD_t^2 = 4gJ_t = \frac{4gmv^2}{\Omega^2} = \frac{Gv^2 60^2}{\pi^2 n^2} \cong \frac{365Gv^2}{n^2} \qquad (4.7.14)$$

4.7.2. **Caracteristicile mecanice ale maşinilor de lucru.** Caracteristicile mecanice reprezintă dependenţa cuplului rezistent de numărul n de rotaţii pe minut, de unghiul de rotire α, de drumul parcurs s sau de timp:

$$M = f(n)\,;\quad M = f(\alpha)\,;\quad M = f(s)\,;\quad \text{sau}\quad M = f(t).$$

Caracteristicile mecanice ale maşinilor de lucru servesc ca bază atît pentru alegerea puterii motorului de acţionare, cît şi pentru calculul elementelor dispozitivului de acţionare.

Cuplul rezistent este compus dintr-un cuplu util, corespunzător lucrului pe care trebuie să-l îndeplinească mecanismul acţionat electric şi un cuplu de pierderi datorită frecărilor în transmisii, în lagăre etc. Cuplul util poate varia în funcţie de unul sau mai mulţi parametri.

Clasificarea maşinilor de lucru după caracterul sarcinii. Alegerea motorului electric de acţionare şi a aparatajului de comandă se face în conformitate cu caracterul sarcinilor maşinii de lucru, care se apreciază după următoarele criterii:

a) după durata regimului de funcţionare:

Funcţionarea de lungă durată, cînd motorul funcţionează timp mai îndelungat fără oprire (cazul pompelor, transportatoarelor de bandă, şnecuri maşini de prelucrare a lemnului, gatere, concasoare, maşini de sortat, betoniere).

Funcţionarea de scurtă durată, cînd durata de funcţionare este mai mică decît durata opririi, astfel încît motorul se răceşte complet (de exemplu, macarale din atelierele de reparaţii). Perioadele se stabilesc pe o durată de 5; 10; 15; 30; 45; 60 minute.

Funcţionarea intermitentă, cînd funcţionarea în sarcină alternează cu funcţionarea în gol sau cu oprirea (cazul macaralelor, betonierelor, maşinilor pentru tăiat etc.). Regimul intermitent se caracterizează prin durata relativă de conectare D_A, adică raportul dintre perioada de funcţionare t_a şi durata totală a ciclului t (funcţionarea t_a plus pauza t_p ale cărei valori normale sînt de 15,25 şi 40%).

$$D_A = \frac{t_a}{t_a + t_p} \cdot 100\ [\%] \qquad (4.7.15.)$$

În figura 4.7.2 sînt reprezentate grafic regimurile de funcţionare şi durata relativă de funcţionare.

b) După caracteristicile lor mecanice există următoarele regimuri de funcţionare:

Sarcină constantă, cînd cuplul rezistent se menţine practic constant sau are variaţii neînsemnate faţă de valoarea medie. În acest caz puterea motorului se determină cu relaţia:

$$P_r = \frac{M_r n}{975}\ [\text{kW}]\,; \qquad (4.7.16.)$$

M_r este cuplul static rezistent.

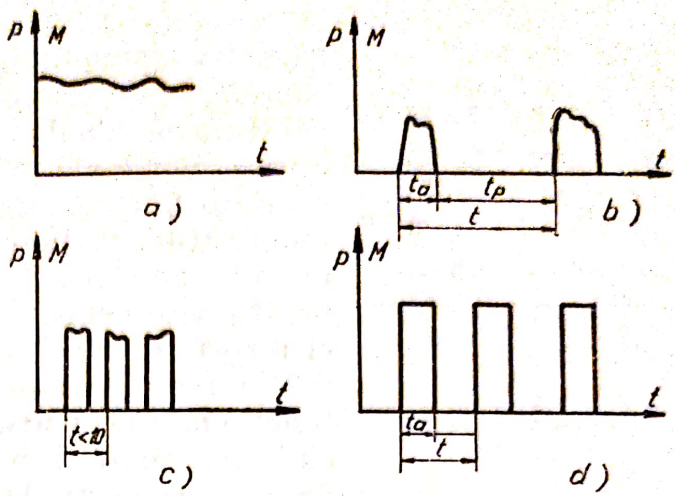


Fig. 4.7.2. Regimuri de funcţionare :
a — de durată ; *b* — de scurtă durată ; *c* — intermitent ; *d* — durată relativă de conectare.

Sarcină variabilă, cînd cuplul are variaţii mari care se produc în perioade relativ îndelungate (macarale, excavatoare, strunguri etc.)

Sarcină pulsatorie, cînd puterea absorbită variază periodic şi des (vibrator de podest, pompe cu piston, concasoare de piatră, ciururi, pompe pentru beton etc.)

4.7.3. **Determinarea puterii motoarelor.** *Clasificarea motoarelor electrice după construcţia lor.* Un motor electric funcţionează în condiţii sigure, cînd construcţia lui corespunde mediului înconjurător.

După felul protecţiei, există următoarele tipuri de motoare electrice : *a)* deschise, la care piesele în rotaţie şi conductoarele electrice nu au dispozitive de protecţie contra acţiunii mediului ; se folosesc în încăperi uscate, încălzite şi neîncălzite ;

b) protejate contra atingerilor eventuale şi a pătrunderii corpurilor străine şi contra picăturilor şi jeturilor de apă, din orice direcţie ; nefiind protejate contra prafului şi gazelor, aceste motoare nu pot fi instalate în încăperi cu pericol de incendiu sau explozie sau cu vapori şi gaze caustice ;

c) închise, avînd numai orificiile de introducere a conductoarelor şi a buloanelor care fixează piesele maşinii ; ele sînt obişnuite, răcite prin suflare (cu ventilator instalat pe axa motorului), cu ventilaţie închisă (la care aerul de răcire se aduce prin ţevi) şi ermetice ; se instalează în aer liber şi în încăperi cu pericol de incendiu şi cu praf ;

d) protejate contra exploziilor ; se instalează în mediu cu pericol de explozie.

4.7.4. **Încălzirea motoarelor electrice.** În timpul funcţionării, motoarele electrice se încălzesc, datorită efectului Joule-Lenz. Temperatura lor creşte pînă cînd se ajunge la un regim staţionar, cînd căldura degajată de motor într-un interval de timp este radiată în mediul înconjurător în acelaşi interval de timp.

Depăşirile admisibile de temperatură ale pieselor motorului peste temperatura mediului înconjurător, stabilită la 35 °C, depind de clasa de izolaţie a motorului.

Scanned with OKEN Scanner

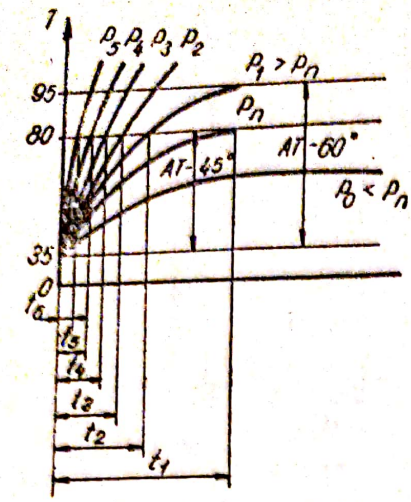


Fig. 4.7.3. Curbele de încălzire.

În figura 4.7.3 sînt reprezentate curbele de încălzire ale unui motor electric. Pentru sarcina $P_0 < P_n$ motorul se încălzeşte sub temperatura nominală. Pentru sarcina P_n, temperatura nominală staţionară este atinsă după un timp t_1, iar pentru sarcini mai mari $P_k > P_n$, temperatura staţionară, mai mare decît cea nominală, este atinsă după timpuri $t_k < t_1$. Temperatura se consideră nominală cînd creşterea ei într-o oră nu depăşeşte 1 °C.

Din figură rezultă că pentru motoarele cu funcţionare de scurtă durată, se pot admite sarcini mai mari decît la funcţionarea de lungă durată, respectîndu-se capacitatea de suprasarcină a motorului.

Condiţiile de încălzire şi răcire depind de construcţia motoarelor: motoarele deschise se încălzesc mai încet şi se răcesc mai repede decît cele închise; la motoarele cu ventilaţie, răcirea este mai intensă la mers în gol decît în repaos, datorită ventilaţiei.

4.7.5. **Alegerea motoarelor electrice de acţionare.** Alegerea motoarelor de acţionare se face pe baza anumitor criterii:

a) Alegerea motoarelor după puterea necesară pentru antrenarea maşinilor de lucru; aceasta trebuie să corespundă din punctul de vedere al încălzirii normale, a capacităţii instantanee de suprasarcină, a cuplului de pornire şi a funcţionării de durată cu sarcină constantă sau cu variaţii mici.

La funcţionarea de durată cu sarcină variabilă în limite mari, puterea motorului se poate determina prin mai multe metode, dintre care se va aminti metoda curentului echivalent, care este curentul constant, care, trecînd prin motor în timpul $t = t_1 + t_2 + \ldots + t_n$ a unui ciclu de variaţie, produce aceeaşi încălzire ca şi curenţii $I_1, I_2, \ldots, I_n$, care trec prin motor în timpurile respective $t_1, t_2, \ldots, t_n$ (fig. 4.7.4)

$$I_e^2 Rt + I_1^2 Rt_1 + I_2^2 Rt_2 + \ldots + I_n^2 Rt_n$$

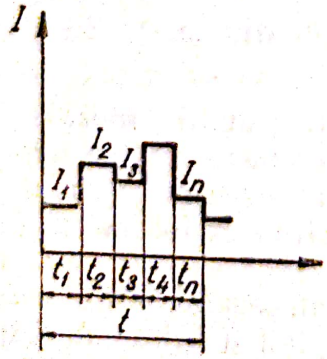


Fig. 4.7.4. Grafic de sarcină.

unde R este rezistenţa înfăşurării motorului în care au loc căderile de tensiune rezistive. Curentul echivalent este:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \ldots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}} = \sqrt{\frac{\Sigma I_k^2 t_y}{t}}. \quad (4.7.17)$$

În felul acesta, graficul de sarcină a fost descompus într-o serie de dreptunghiuri.

Motorul ales se verifică la cuplul de pornire şi de suprasarcină.

Motoarele pentru regimul de funcţionare de scurtă durată, de 5—60 minute se aleg după cataloage speciale în care se ţine seama de specificul de încălzire la acest regim. Puterea motorului se determină prin metoda cuplului echivalent pentru o perioadă de funcţionare $t = t_a + t_p$:

$$M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 t_a + M_2^2 t_p}{t_a + t_p}}. \qquad (4.7.18)$$

Din catalog se alege motorul cu cuplu nominal $M_n \geqslant M_e$, pentru funcţionare de scurtă durată pe timpul t, care se verifică la suprasarcină.

Pentru regimul de funcţionare intermitent, motoarele electrice se aleg în funcţie de durata de conectare D_A (relaţia 11.2).

În lipsa posibilităţilor de a utiliza aceste metode, mai există următoarele metode generale:

— Metoda informativă, prin care se iau date asupra puterii absorbite de motoare similiare

— Metoda de comandă provizorie, în care maşina se antrenează cu un motor electric apreciat a fi de o putere mai mare decît cea necesară, pentru a nu se arde. Prin măsurători la mers în gol şi sarcină se poate stabili puterea necesară.

— Metoda calculului prin formule aproximative, stabilite pentru unele maşini. Aşa de exemplu, puterea necesară pentru antrenarea unei pompe de lichid se calculează cu formula:

$$P = 10\, k \cdot Q \cdot H. \quad [\text{kW}] \qquad (4.7.19)$$

unde Q este debitul pompei, în m³/s, H este presiunea manometrică, în m (suma presiunilor de aspiraţie H_a, de refulare H_r şi pierderile de presiune prin frecare H_f) iar k este un coeficient care se ia în funcţie de puterea motorului.

Puterea de antrenare a unui ventilator este

$$P = \frac{q \cdot p}{\eta \cdot 10}\ [\text{kW}]; \qquad p = p_1 + p_2; \qquad P_1 = \frac{\delta \cdot v}{2g} \qquad (4.7.20)$$

unde q este debitul ventilatorului; p este presiunea totală a aerului; p_1 este presiunea curentului util de aer produs de ventilator, p_2 este presiunea pierdută prin frecarea aerului în ventilator, η este randamentul ventilatorului; δ este greutatea specifică a aerului, care la 20°C şi presiunea de 750 mm Hg este de 1,2 kg/m³; v este viteza aerului la ieşirea din ventilator; g este acceleraţia gravitaţională.

Puterea de antrenare la ascensoare este:

$$P = \frac{G \cdot v}{102\, \eta}\ [\text{kW}]; \qquad (4.7.21)$$

unde G este greutatea în kg; v este viteza în m/s; η este randamentul transmisiei.

— Metoda tabelelor indicatoare, în care fabricile constructoare dau datele nominale ale motoarelor electrice pentru o serie de maşini de lucru.

Scanned with OKEN Scanner

b) Alegerea motoarelor după felul curentului şi al tensiunii este în funţie de construcţia motorului, precum şi de sursa de energie electrică ce stă la dispoziţia şantierului. Pentru acţionarea pompelor mari de apă, a concasoarelor de piatră, a compresoarelor mari şi a excavatoarelor cu capacitatea cupei peste 2,5 m³, a căror acţionare cere puteri de peste 200 kW, se folosesc motoare de tensiune înaltă.

Motoarele de curent continuu se mai folosesc la acţionarea autocarelor, fiind alimentate de la baterii de acumulatoare, iar generatoarele se folosesc la încărcarea bateriilor.

În locurile de pericol mare de electrocutare (la construcţii metalice, beton sau sol umed etc.) se folosesc motoare de acţionare cu tensiune redusă, de maximum 36 V.

c) Alegerea motoarelor electrice după caracteristicile mecanice se face în funcţie de caracteristicile de funcţionare ale maşinilor de lucru, limitîndu-se în general la posibilităţile de folosire a motoarelor asincrone, şi în cazul foarte rare, a motoarelor sincrone (instalaţii foarte mari de compresoare) şi a motoarelor paralel (derivaţie) de curent continuu (la excavatoare).

Motoarele în colivie sînt ieftine, au cos φ şi randament destul de bun, dar prezintă dezavantajele unui curent de pornire mare (care limitează puterea lor la maximum 20% din puterea transformatorului de alimentare) cuplu de pornire mic şi imposibilitatea reglării turaţiei în mod convenabil.

Acolo unde motoarele cu colivie nu corespund, se examinează posibilitatea folosirii motoarelor cu colivie dublă sau bare înalte, care au cuplu de pornire mare şi curent de pornire mic.

Motoarele cu rotor bobinat şi inele colectoare, cu reostat de pornire se folosesc la maşini cu condiţii grele de pornire (sub sarcină sau cu mase mari de inerţie), deoarece la un curent de pornire cu 20—30% mai mare decît cel nominal, au cuplu de pornire de 2—2,5 ori cuplul nominal.

d) La alegerea motoarelor după turaţie se va căuta ca turaţia motorului să coincidă cu turaţia maşinii de lucru, ceea ce permite un cuplaj direct, evitîndu-se transmisiile, în care au loc pierderi de putere.

Există şi motoare asincrone de putere mică, avînd frecvenţa de 200 Hz şi 12000 şi 6000 rot/min, folosite la acţionarea unor unelte electrice.

e) Alegerea motoarelor după modul de construcţie se face conform tabelei 4.7.1.

f) Motoarele electrice alese se verifică la capacitatea de suprasarcină şi la pornire, precum şi la încălzire, aplicîndu-se corecţiile de putere.

4.8. COMANDA AUTOMATĂ A ACŢIONĂRILOR ELECTRICE

4.8.1. Generalităţi. Pentru obţinerea unei anumite cinematici a mecanismelor, programată sau dorită, la un moment dat, este necesar ca motoarele de acţionare să fie prevăzute cu un sistem de comandă automată care să dea impulsurile şi să urmărească efectuarea comenzii impuse.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 4.7.1

Alegerea motorului electric după modul de construcţie în funcţie de mediul înconjurător

Caracteristica încăperii şi a mediului	Tipul motorului
Încăpere uscată, fără praf, noroi şi gaze	Deschis
Încăpere uscată, neprăfuită, unde există pericol de pătrundere a obiectelor mărunte	Protejat, deschis cu o plasă suplimentară
Încăpere cu praf	Închis, cu ventilaţie
Încăpere umedă	I d e m
Încăpere cu stropi	Protejat contra picăturilor
Încăpere cu temperatură înaltă	Închis, cu izolaţie rezistentă la temperatură
Mediu cu pericol de explozie	Închis, special protejat contra exploziilor
Aer liber	Închis

Sistemul de comandă este compus din totalitatea aparatelor şi maşinilor electrice prin care impulsul de comandă dat de către operator este realizat de către organele executoare. Pentru a-şi îndeplini scopul, sistemul de comandă include dispozitive de măsurat, de control şi de protecţie.

Comanda acţionărilor poate fi realizată prin două categorii de sisteme de comandă:

a) directe (manuale); *b)* automatizate.

Comanda manuală se obţine în urma acţiunii unui operator asupra dispozitivului mecanic prin care se închid şi deschid contactele circuitelor electrice.

Comanda automatizată răspunde impulsului dat de operator sau de un sistem automat oarecare.

4.8.2. **Aparate de comandă şi protecţie.** *a) Relee.* Releele sînt dispozitive care servesc la comutarea unor mecanisme auxiliare, la semnalizări şi la protejarea maşinilor şi reţelelor.

Clasificarea releelor se poate face din mai multe puncte de vedere. După principiul de funcţionare, releele sînt: termice, electrice, termoelectrice, electromagnetice, electrodinamice, de inducţie şi mecanice.

După mărimea electrică de acţionare, releele sînt: de tesiune, de intensitate, de putere, de impedanţă.

După modul de legare în circuit, releele sînt: primare, care se leagă direct în circuitul protejat şi secundare, care se leagă în secundarul unui transformator de curent sau de tensiune.

Scanned with OKEN Scanner

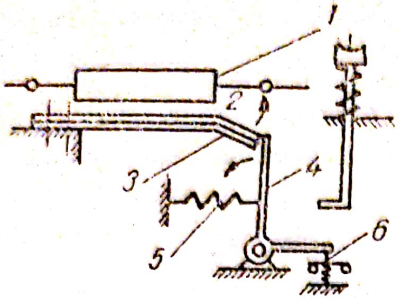


Fig. 4.8.1. Releu termic cu bimetal:

1 – elementul de încălzire; *2, 3* – lama bimetalică; *4* – pîrghie; *5* – arc; *6* – contact; *7* – buton de revenire.

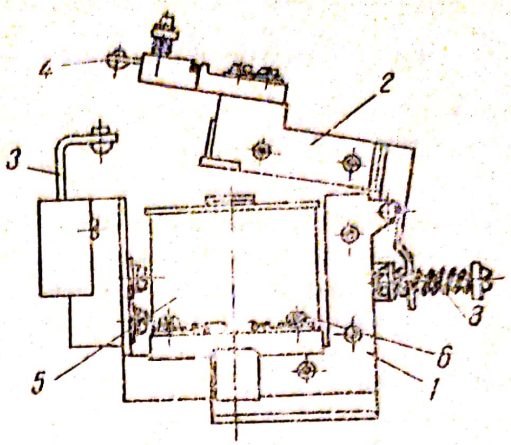


Fig. 4.8.2. Releu intermediar:

1 – miez fix; *2* – armătură mobilă; *3* – contact fix; *4* – contact mobil; *5* – bobină; *6* – bornele bobinei.

Dintre aceste relee vor fi studiate cîteva din cele mai frecvente, care intră în compunerea schemelor de comandă, protecţie şi semnalizare.

Relee termice. Funcţionarea releului termic se bazează pe încovoierea unei lamele bimetalice, cînd aceasta se încălzeşte datorită curentului ce o parcurge direct sau printr-un element încălzitor special. Bimetalul este alcătuit din două benzi metalice avînd coeficienţi de dilatare diferiţi, aplicate una peste alta şi sudate între ele. Cu cît curentul care produce încălzirea bimetalului este mai mare, cu atît lamelele se încovoaie mai mult şi mai repede şi releul termic acţionează mai rapid. Construcţia schematică a unui releu termic se dă în figura 4.8.1.

Releele termice nu au acţiune instantanee, deci nu oferă protecţie la variaţii bruşte de suprasarcină (scurtcircuit).

Relee intermediare sînt aparate de tip electromagnetic care au acelaşi rol ca şi contactoarele, însă comandă simultan mai multe circuite. În figura 4.8.2 este arătat un tip de releu intermediar. Prin alimentarea înfăşurării bobinei se comandă închiderea sau deschiderea unuia sau mai multor circuite în care sînt montate contactele sale.

Relee de curent şi tensiune. Pentru protecţia contra scurtcircuitelor şi circuitelor şi suprasarcinilor se folosesc şi relee de curent. Acestea se fabrică pentru curent continuu sau curent alternativ. În figura 4.8.3 este reprezentat un releu electromagnetic de curent alternativ.

Acest releu funcţionează în modul următor: în momentul în care bobinele 2 şi 3 din circuitul magnetic 1, sînt străbătute de un curent suficient de mare, armătura de oţel 4 se roteşte, învingînd reacţiunea arcului 6 şi rotind axul 5; contactul 7 se închide.

Prin rotirea acului indicator 8, se poate modifica forţa de reacţiune a arcului 6, şi prin urmare, se poate modifica curentul de acţionare.

Scanned with OKEN Scanner

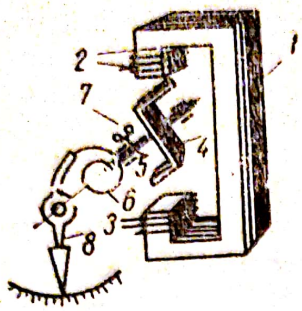


Fig. 4.8.3. Releu electromagnetic de curent:
1 — circuit magnetic; *2*, *3* — bobine; *4* — armătură de oţel; *5* — contact.

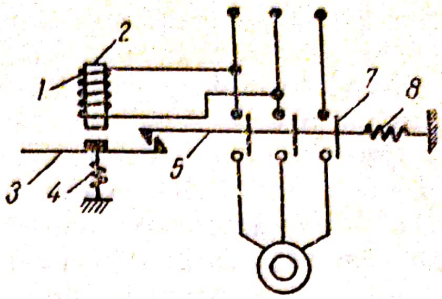


Fig. 4.8.4. Releu de tensiune minimă sau tensiunea nulă:
1 — înfăşurarea electromagneţilor; *2* — miez magnetic; *3* — bară; *4* — resort; *5* — tije; *6* — resort; *7* — contactele întrerupătorului.

Releul de tensiune maximă funcţionează pe aceleaşi principii ca şi releul din figura 4.8.3.

În figura 4.8.4 este dată schema unui releu de tensiune minimă care acţionează la scăderea tensiunii, sau la dispariţia ei, întrerupînd circuitul.

Releele de timp se folosesc la comanda automată a motoarelor electrice cînd se cere o anumită temporizare între diferite operaţii succesive, de exemplu la scoaterea din circuit a treptelor rezistenţei de pornire. În general se folosesc relee de timp magnetice şi pendulare.

b) Contactoare. Contactoarele sînt aparate care închid sau deschid un circuit sub acţiunea unei comenzi din afară. Spre deosebire de întrerupătoarele automate, contactoarele pot suporta un număr mare de conectări pe oră şi pot fi comandate de la distanţă. Contactoarele echipate cu relee pot înlocui întrerupătoarele automate, atunci cînd capacitatea lor de rupere este satisfăcută pentru întreruperea curenţilor de scurtcircuit. La contactorul reprezentat schematic în figura 4.8.5, la trecerea curentului de comandă prin bobina 2, miezul de fier atrage o armătură mobilă 3, pe care se află prinsă tija 4, avînd fixate pe aceasta din urmă mai multe contacte. La atragerea armăturii contactorului acestea pot închide sau deschide circuitele electrice în care sînt montate. În figura 4.8.6. este reprezentată schema unui contactor comandat de la distanţă prin buton. La apăsarea butonului de pornire *P*, butonul de oprire *O* fiind închis, se închide circuitul auxiliar al contactului, legat în paralel cu fazele *S*, *T* al reţelei. La trecerea curentului de comandă prin bobina contactorului, armătura 4 este atrasă şi închide întrerupătorul principal pe

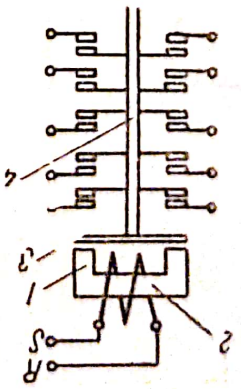


Fig. 4.8.5. Contactor.

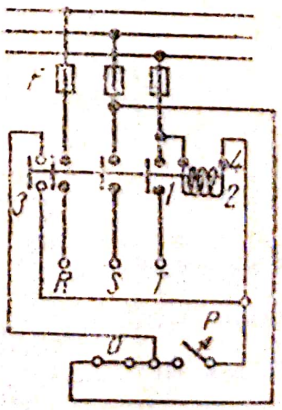


Fig. 4.8.6. Schema de comandă a unui contactor.

cele 3 faze R, S, T care leagă motorul la reţea. Simultan se închide contactul 3 care şuntează butonul de pornire B, astfel că circuitul auxiliar rămîne închis şi după deschiderea contactelor butonului B la eliberarea lui. Oprirea motorului se face prin apăsarea butonului de oprire O, cînd circuitul auxiliar se întrerupe, curentul de comandă este zero, miezul contactorului se demagnetizează, iar întrerupătorul principal se deschide.

c) Întrerupătoare automate. Aceste aparate se folosesc pentru alimentarea instalaţiilor, precum şi pentru protecţia motoarelor împotriva curenţilor de suprasarcină sau a curenţilor de scurtcircuit; declanşarea se face automat sub acţiunea releelor.

În principiu, întrerupătorul automat se compune din întrerupătorul propriu-zis, care este un întrerupător cu pîrghie în aer sau ulei, şi releul care comandă automat deschiderea întrerupătorului, de obicei un releu electromagnetic.

Releele cu care sînt echipate întrerupătoarele automate sînt de suprasarcină (termobimetalice), de scurtcircuit (electromagnetice) şi de tensiune minimă sau nulă (electromagnetice).

În caz de scurtcircuit, întrerupătoarele automate asigură declanşarea, însă datorită inerţiei mecanice inevitabile a releului, declanşarea durează mai mult decît în cazul arderii unor siguranţe fuzibile expunînd instalaţia pentru cîteva zeci de milisecunde la întregul curent de scurtcircuit. Ca urmare utilizarea acestor întrerupătoare automate este recomandată în combinaţie cu siguranţe fuzibile.

Întrerupătoarele trifazate se construiesc în aer (denumite prescurtat DIT A) şi în ulei (denumite DITU (figura 4.8.7).

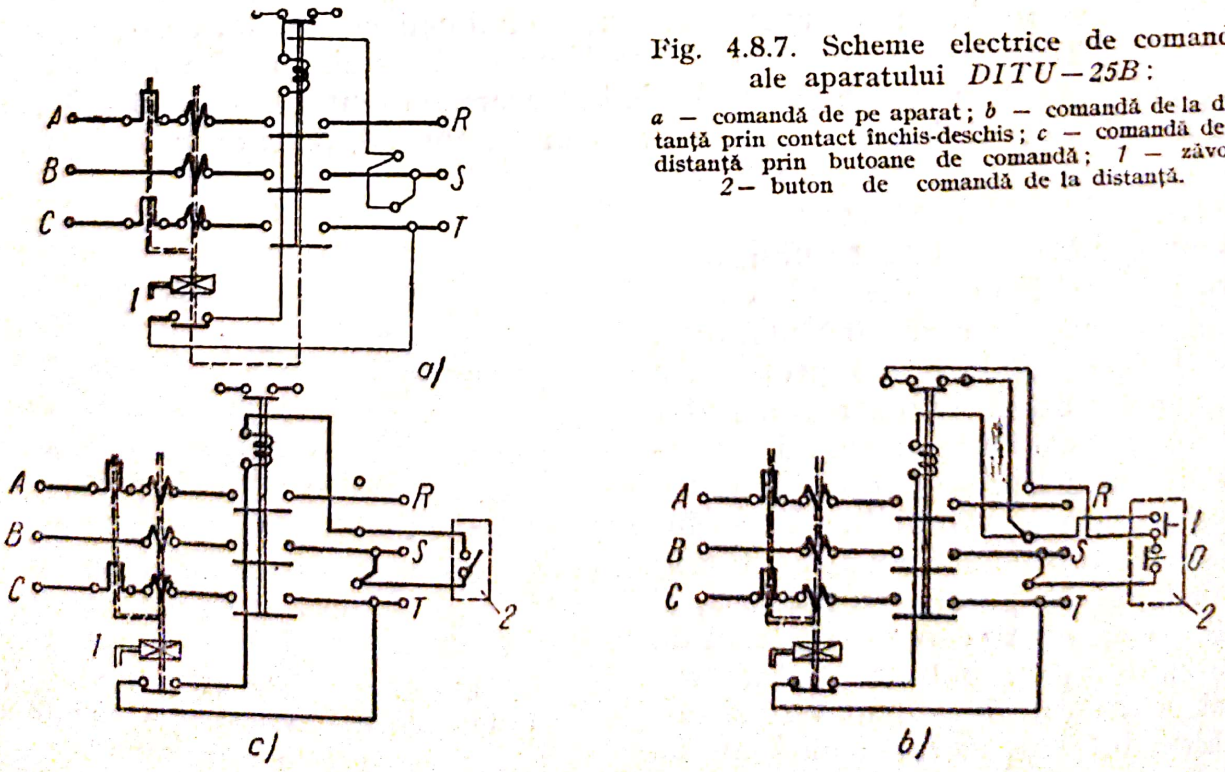


Fig. 4.8.7. Scheme electrice de comandă ale aparatului *DITU—25B*:

a — comandă de pe aparat; *b* — comandă de la distanţă prin contact închis-deschis; *c* — comandă de la distanţă prin butoane de comandă; *1* — zăvor; *2* — buton de comandă de la distanţă.

Acţionarea automatelor se poate face cu butoane montate pe întrerupător sau la distanţă.

d) Controlerul. Controlerul este un întrerupător-comutator care serveşte la pornirea, reversarea şi reglarea turaţiei motoarelor electrice. Controlerele permit să se realizeze în mod simplu scheme complicate de comandă a motoarelor electrice. Se folosesc trei tipuri de controlere: controlere tobă, cotrolere cu came şi controlere magnetice.

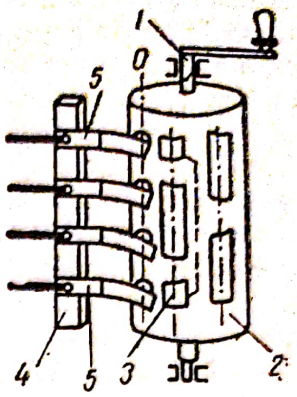
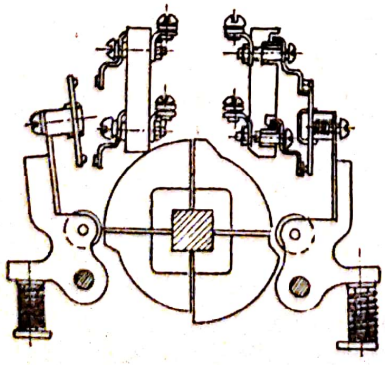


Fig. 4.8.8. Construcţia unui controler cu tobă.

În figura 4.8.8. este reprezentat schematic un controler cu tambur. Pe axul 1 este fixat tamburul 2 confecţionat din material izolant. Pe suprafaţa acestui tambur sînt fixate o serie de sectoare de cupru, 3, conectate între ele în diferite moduri. Pe tija 4 confecţionată dintr-un material izolant, sînt dispuse o serie de lamele de contact 5, legate prin conductoare la diferite puncte ale circuitului electric. La rotirea manetei controlerului, tamburul 2 se roteşte şi sectoarele 3 fac legătura între lamelele de contact 5 în diferite moduri.

Controlerul cu came (fig. 4.8.9) este format din contacte separate, care sînt comandate de discuri cu came, aşezate pe un ax comun.

e) Limitatoarele de cursă sînt aparate care comandă conectarea sau deconectarea circuitului de alimentare a motoarelor electrice ce acţionează un anumit mecanism sau maşină de lucru, cînd acesta atinge o poziţie limită, iar continuarea mişcării ar duce la avarii. Limitatoarele de cursă pot fi construite să funcţioneze fie în circuitul principal al instaţiei, fie în circuitul de comandă (limitatoare secundare). Limitatoarele de cursă pot fi de tipul cu tijă, cu roată, cu pîrghie sau cu ax de rotaţie. Ca exemplu s-a prezentat în figura 4.8.10 limitatorul de cursă cu pîrghie. Se compune dintr-o cutie 1 în care este aşezat tamburul 2, pe care sînt fixaţi segmenţii 3, izolaţi faţă de tambur. Pe axa 4 a tamburului se află pîrghia 5 cu rola 6, care la funcţio-


Fog. 4.8.9. Controler cu came

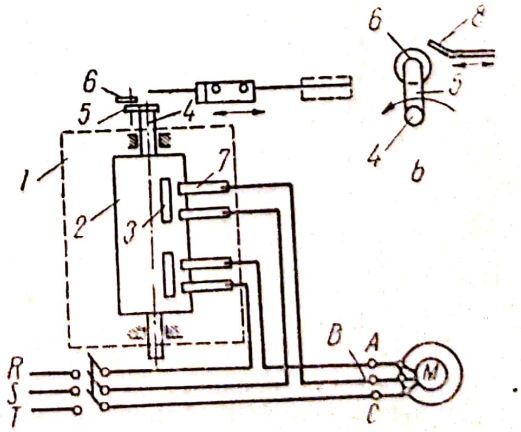


Fig. 4.8.10. Limitatoare de cursă:
a — schemă constructivă; *b* — acţionarea pîrghiei cu rolă.

nare normală stă în poziţie verticală, cînd segmenţii 3 vin în contact cu cîte două lame de contact 7, la care se leagă două faze a motorului. Circuitul este astfel închis cînd maşina a ajuns la sfîrşit de cursă, placa 8 a pîrghiei 5, întrerupînd contactul între segmenţi şi lame, deci întrerupînd celedouă faze.

f) Reostatele de pornire. Au rolul de a micşora curentul absorbit la pornire de motoarele electrice. Din punctul de vedere al încălzirii, se dimensionează pentru o durată scurtă de funcţionare. După destinaţie şi construcţie, se deosebesc următoarele tipuri de reostate:

— După tipul de motor, reostatele pot fi pentru motoare de curent continuu şi pentru motoare asincrone de curent alternativ.

— După materialul rezistenţei, reostatele sînt metalice şi cu lichid.

— După construcţia comutatorului treptelor de rezistenţă, se deosebesc reostate plane şi reostate cu controler. Reostatul plan (sau cu ploturi) folosit la pornirea motoarelor de curent continuu, se compune din elemente de rezistenţă metalice, legate la contactele 1—5 (fig. 4.8.11.)

Borna L face contactul între maneta reostatului şi reţea, borna M se leagă la inductorul motorului (în paralel sau mixt), direct sau prin reostatul de cîmp, iar borna R la indusul lui. Segmentul de cupru 6 este în contact permanent cu manta 7. Contactul 1 al reostatului este legat electric cu segmentul de cupru, astfel că la oprirea motorului şi scoaterea din circuit a reostatului, prin fixarea manetei pe contactul liber O, circuitul de excitaţie nu se întrerupe. Dacă s-ar întrerupe, la trecerea manetei pe contactul liber, din cauza inducţiei mari a circuitului de excitaţie, între manetă şi segment ar apărea un arc electric dăunător contactelor.

În figura 4.8.12. este dată schema reostatului plan, folosit la pornirea motorului asincron cu inele. Acesta este format dintr-o rezistenţă trifazică

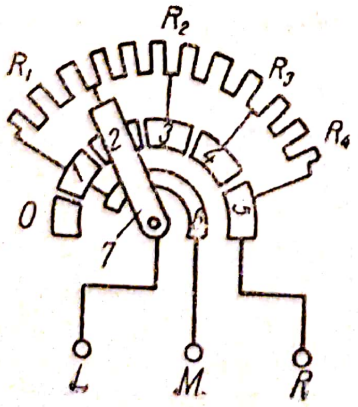


Fig. 4.8.11. Schema de principiu a reostatului plan cu trei borne, pentru pornirea motoarelor de curent continuu.

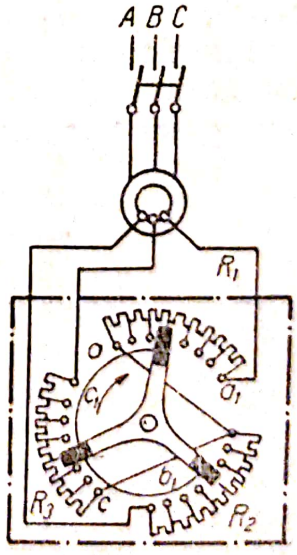


Fig. 4.8.12. Schema reostatului pentru pornirea motorului asincron cu inele.

R_1, R_2, R_3, la care variaţia simultană a rezistenţelor pe fază se obţine prin rotirea manetei. În poziţia a, b, c rezistenţa are valoare maximă, iar în poziţia a_1, b_1, c_1 are valoare minimă.

g) Reostate de reglare. Aceste reostate, numite reostate de excitaţie, servesc la varierea curentului de excitaţie al inductorului generatoarelor electrice, obţinîndu-se astfel reglarea tensiunii la bornele lor. Deoarece ele modifică valoarea cîmpului inductor, atît la generator cît şi la motoare, se mai numesc şi reostate de cîmp. Sînt de dimensiuni mai mici, fiind străbătute de curentul de excitaţie relativ mic. Ele se construiesc ca reostate plane (cu ploturi) răcite cu aer.

La motoarele de curent continuu în paralel, reglarea vitezei se face prin variaţia excitaţiei, cu reostatul de cîmp. De obicei reostatul de reglare se combină cu cel de pornire, într-un singur aparat.

La motoarele serie de curent continuu şi la motoarele asincrone, reostatele de reglare sînt calculate pentru funcţionarea de durată şi se pot folosi şi ca reostate de pornire.

h) Electromagneţii de frînare. Electromagneţii de frînare servesc la decuplarea automată a frînei la pornirea motorului electric şi cuplarea ei la oprirea motorului. Se folosesc în mod obligator la macarale, în special pentru frînarea automată a mecanismului de ridicare a sarcinii, la deconectarea motorului care acţionează mecanismul sau la dispariţia tensiunii.

În figura 4.8.13 este arătat principiul de funcţionare al electromagnetului de frînare.

Tija 1 a electromagnetului este fixată de pîrghia 2, care prin greutatea 3 apasă frîna cu bandă 4 pe roata 5. La trecerea curentului i_e prin bobina 6 a electromagnetului, miezul 7, de care este fixată tija cu greutatea este atras în sus, iar frîna se eliberează. La întreruperea curentului în bobină, pîrghia cu greutatea revine în poziţia iniţială, efectuîndu-se frînarea.

Electromagneţii de frînare sînt monofazici şi trifazici. Cei trifazici sînt conectaţi în stea sau în triunghi şi se leagă în paralel cu înfăşurarea statorului motorului electric de antrenare.

4.8.3. Comanda dispozitivelor electrice de acţionare

a) Scheme electrice. Faţă de principiile de întocmire a schemelor electrice, prezentate în subcapitolul 5.3., se dau următoarele completări referitoare la schemele de acţionare:

Studierea unei scheme de montaj fără ajutorul schemei desfăşurate este practic imposibilă.

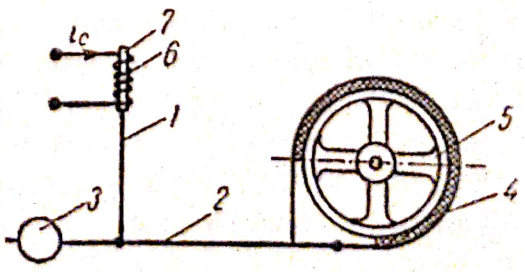


Fig. 4.8.13. Principiul de funcţionare al electromagnetului de frînare.

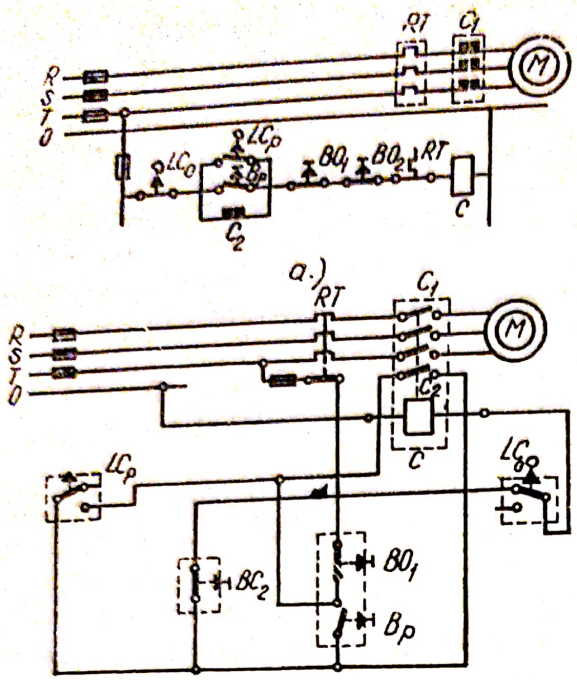


Fig. 4.8.14. Scheme electrice:
a — desfăşurată; *b* — de montaj.

În tabela 4.8.1 sînt indicate elementele principale care intră de obicei într-o schemă de comandă.

Poziţia normală a unui contact (închis sau deschis) este acea poziţie pe care o ocupă aceste contacte, atunci cînd bobina aparatului respectiv (releu sau contactor) nu este străbătută de curent.

În orice schemă, contactele sînt reprezentate în poziţia lor normală.

În figura 4.8.14 este reprezentată aceaşi schemă prin cele două metode. Fiindcă anumite elemente (contacte, bobine, etc.) formează părţi componente ale aceluiaşi aparat, se indică prin notarea tuturor acestor elemente cu acelaşi simbol (literă sau cifră).

De exemplu contactorul C din schema reprezentată în figura 4.8.14 b apare în schema desfăşurată din figura 4.8.14 a, desfăcut în trei părţi: bobina C, contactele principale C_1 şi contactul auxiliar C_2.

b) Principii de comandă automată a motoarelor electrice

Comanda sistemelor de acţionare constă în realizarea pornirii, frînării şi schimbării sensului de rotaţie.

La proiectarea schemelor de comandă automată se porneşte, în general, de la caracteristicile mecanice.

Pentru a înţelege mai bine, în cele ce urmează, pe baza figurilor amintite, s-a reprezentat diagrama de pornire (fig. 4.8.15, pornire cu rezistenţă în trepte; variaţia curentului şi turaţiei în funcţie de timp).

Din examinarea diagramelor rezultă că decuplarea rezistenţelor trebuie să se facă pentru anumite viteze ale motorului (n_1, n_2, n_3), pentru o anumită valoare a curentului I_{min} şi după anumite intervale de timp (t_1, t_2, t_3). În afară de aceste trei metode de bază, pornirea se poate realiza şi în funcţie de alte mărimi (de exemplu, cursă, cuplu, putere).

Conform figurii decuplarea rezistenţelor de pornire se poate realiza şi manual prin urmărirea valorii curentului pe un ampermetru.

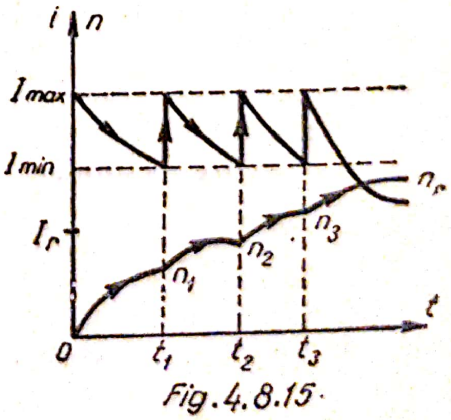


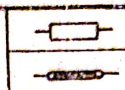
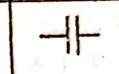
Fig. 4.8.15.

Fig. 4.8.15. Diagrama de pornire a unui motor derivaţie.

Scanned with OKEN Scanner

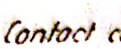
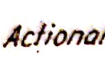
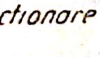
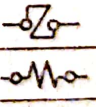
Semne convenționale folosite la întocmirea schemelor electrice de acționare

Tabela 4.0.1

Nr. crt.	Semnificația simbolului		Simbolul conform STAS	Simbolul conform DIN 40709 40716	Simbolul conform GOST 7624-55
1	Rezistență nereactivă				
2	Inductanță				
3	Capacitate în general				
4	Motor asincron trifazat cu rotorul în scurt circuit				
5	Element de conectare mobil în general				Nu prevede
6	Contact normal deschis în general				Nu prevede
7	Contact normal închis în general				Nu prevede
8	Contact de contactor semn pentru scheme desfășurate	normal deschis			
		normal închis			
9	Contact acționat prin buton	normal deschis	Nu prevede		
		normal închis	Nu prevede		
10	Contact de limitator de cursă	normal deschis	Nu prevede		
		normal închis	Nu prevede		
11	Contact temporizat normal deschis	temporizat la închidere			
		temporizat la deschidere			
12	Contact temporizat normal închis	temporizat la deschidere			
		temporizat la închidere			

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 4.8.1

Nr. crt.	Semnificația simbolului	Simbolul conform		
		STAS	DIN 40 709 40 746	GOST 7621 - 55
13	Contact de releu termic	Nu prevede		
14	Contact cu priză			
15	Acționare manuală			Nu prevede
16	Acționare mecanică (prin camă)			Nu prevede
17	Acționare în funcție de o mărime X			Nu prevede
18	Acționare prin electro magnet			Nu prevede
19	Acționare prin motor electric			Nu prevede
20	Acționare prin presiune		Nu prevede	Nu prevede
21	Acționare electrotermică (releu termic cu bimetal)	Nu prevede		
22	Electromagnet de acționare cu o singură bobină			
23	Organ de acționare cu revenire în poziție de repaus întîrziată	Nu prevede	Nu prevede	Nu prevede
24	Organ de acționare cu punere în acțiune întîrziată	Nu prevede	Nu prevede	Nu prevede
25	Legătura mecanică cu indicarea sensului de efort sau mișcare	Nu prevede		Nu prevede
26	Legătură mecanică cu clichet de reținere	Nu prevede		Nu prevede

Scanned with OKEN Scanner

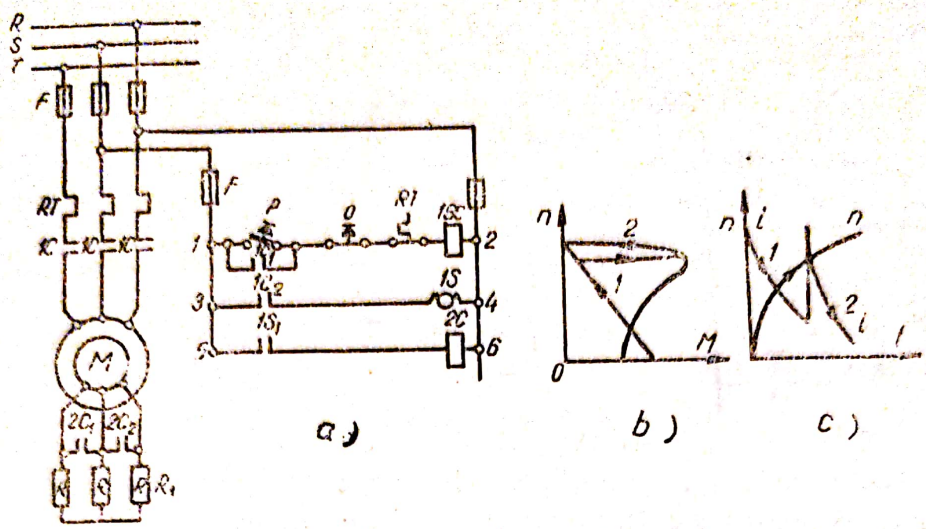


Fig. 4.8.16. Scheme de pornire automată a unui motor asincron cu inele, în funcţie de timp.

Comandă funcţie de timp. Conform figurii 4.8.15, decuplarea rezistenţelor se realizează după diferite intervale de timp. Prima treaptă de rezistenţă se decuplează după timpul t_1 de la pornire, a doua treaptă după timpul $(t_2 - t_1)$ şi aşa mai departe. Temporizarea se realizează cu relee de timp.

În figura 4.8.16 sînt arătate schemele de porniri automate cu o singură treaptă de pornire funcţie de timp, ale unui motor asincron cu rotorul bobinat. Pornirea se face prin apăsarea butonului P, care stabileşte circuitul 1—2, şi excită înfăşurarea de comandă $1BC$ a întrerupătorului AC. Prin contactul auxiliar $1C_1$ care se închide odată cu închiderea întrerupătorului $1C$, înfăşurarea $1BC$ îşi face autocontact. Motorul va porni după caracteristica artificială 1 (figura 4.8.16 b) cu toată rezistenţa în circuitul rotorului. Odată cu excitarea înfăşurării de comandă $1BC$ se închide contactul său $1C_2$ din circuitul 1—4, excitînd releul de timp $1S$. După trecerea timpului corespunzător accelerării motorului pînă la alunecarea de comutaţie se închide contactul $1S_1$, care determină închiderea circuitului 5—6 prin care se excită contactorul $1C$. Acesta îşi închide contactele $2C_1$, $2C_2$ făcînd ca motorul să funcţioneze după caracteristica naturală 2 (figura 4.8.16 b), stabilindu-se punctul corespunzător funcţionării normale.

În figura 4.8.16c s-a reprezentat variaţia curentului şi turaţiei în funcţie de timp.

În figura 4.8.17 este reprezentată schema circuitelor principale şi de comandă pentru pornirea în două trepte a unui motor de curent continuu. Prin conectarea curentului continuu prin contactul normal; închis $1C_2$, se excită releul de timp $1S$ care deschizînd contactele $1S_1$ şi dezexcită contactoarele $2C$ şi $3C$. Astfel schema este pregătită de pornire. Închizînd butonul P se excită bobina $1C$ care îşi închide contactul său $1C$, motorul pornind cu rezistenţele r_1 şi r_2 în circuitul rotorului. Datorită căderii de tensiune pe

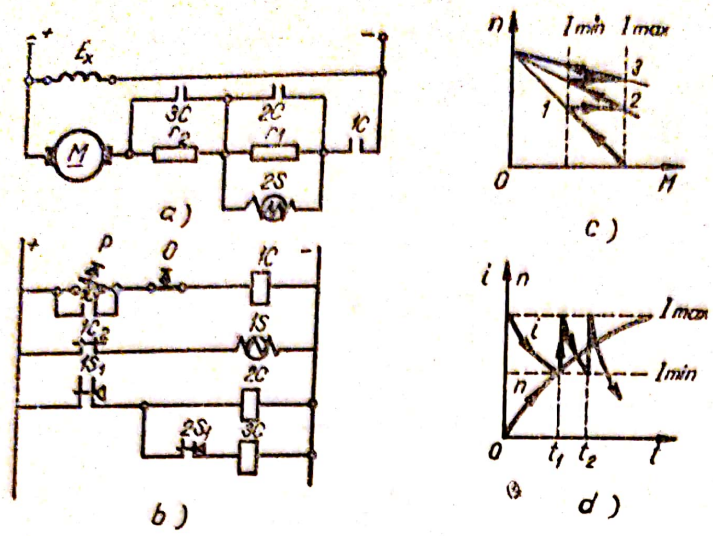


Fig. 4.8.17. Schema de pornire automată a unui motor derivaţie, în funcţie de timp.

rezistenţa r_1 se excită $2S$, deschizîndu-şi contactul $2S_1$. Contactul auxiliar $1C_2$ dezexcită releul de timp $1S$. După trecerea timpului t_1 se închide contactul normal închis $1S_1$, excitîndu-se bobina $2C$, care prin contactul său $2C$, scurtcircuitează rezistenţa r_1. Tensiunea la bornele releului $2S$ devine zero şi după trecerea timpului de $t_2 - t_1$, închide contactul său $2S_1$, excitîndu-se înfăşurarea $3C$, care prin contactul său $3C$ scurtcircuitează rezistenţa r_2.

Din acest moment, motorul trece pe caracteristica naturală accelerîndu-se pînă la viteza de regim.

În figurile 4.8.17 c s-au reprezentat caracteristicile de pornire.

Comanda funcţie de timp se poate aplica şi la frînarea motoarelor. Astfel în figura 4.8.18 este reprezentată frînarea dinamică a unui motor derivaţie de curent continuu.

Pe schemă s-au reprezentat numai elementele principale. Presupunem că motorul funcţionează la turaţia de regim, deci contactoarele $1C$ şi $2C$ sînt închise. Prin contactul $1C_2$ se excită releul $1RF$ închizînd contactul $1RF_1$. Dar CF nu se excită deoarece $1C_3$ este deschis. Oprirea motorului

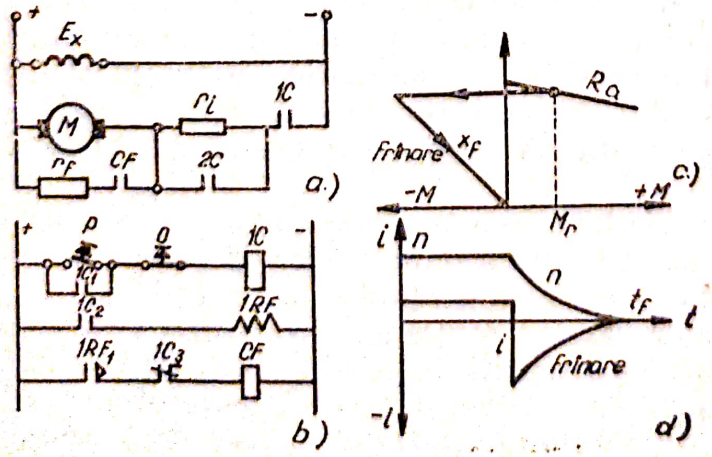


Fig. 4.8.18. Schema de frînare dinamică a unui motor derivaţie.

se face cu butonul *O*. Se deschide contactul 1*C*, rotorul fiind deconectat de la reţea. În acelaşi timp se închide $1C_3$ excitînd contactorul *CF* care închizîndu-şi contactele *CF* conectează rotorul pe rezistenţa de frînare r_f. Motorul începe să frîneze. După deschiderea contactului $1C_2$ se dezexcită înfăşurarea 1*RF* care după un anumit timp îşi închide contactul $1RF_1$, iar contactorul *CF* deschizîndu-şi contactele rezistenţa, r_f este separată de indus. Frînarea s-a terminat. În figura 4.8.1 c au fost arătate caracteristicile de frînare.

Comandă funcţie de viteză. Se bazează pe măsurarea indirectă a alunecării, măsurînd tensiunea contraelectromotoare cu care aceasta este proporţională. Schemele conţin relee de tensiune reglate la tensiuni corespunzătoare alunecării de comutaţie. Reglarea releelor se face la tensiuni date de relaţia.

$$U = C_{en} + I_{r\,min}\, r_i = U_{regl.}$$

Vom reprezenta schema de pornire în mai multe trepte de viteză (figura 4.8.19).

Pornirea motorului începe cu apăsarea butonului *P*, contactorul 1*C* comandă alimentarea motorului. În momentul pornirii tensiunea, la bornele bobinelor contactoarelor de accelerare este egală doar cu valoarea căderii de tensiune în circuitul indusului, întrucît

$$E = K_e \cdot n\,\Phi = 0$$

Pe măsură ce viteza motorului creşte, creşte şi t.e.m. Pentru o anumită viteză n_1, tensiunea la bornele bobinei contactorul 1 *A* atinge valoarea:

$$U_{1A} = C_e \cdot n_1 + I_{min} \cdot R_a \qquad (4.8.2)$$

Cînd viteza motorului ajunge la valoarea n_2, intră în funcţiune şi contactorul 2*A*, care îşi închide contactele sale şi în felul acesta scurtcircuitează şi cea de a doua treaptă de rezistenţă de pornire.

$$U_{2A} = C_e \cdot n_2 + I_{min} \cdot R_a \qquad (4.8.3)$$

$$U_{3A} = C_e \cdot n_3 + I_{min} \cdot R_a \qquad (4.8.4)$$

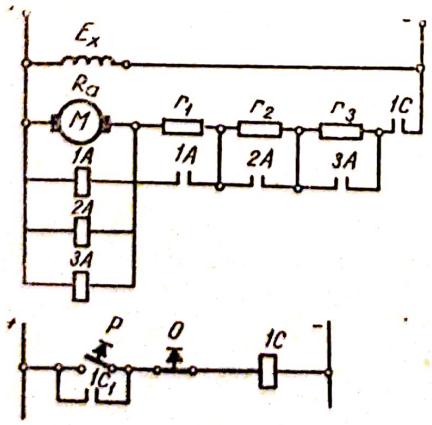


Fig. 4.8.19. Schema de pornire automată în funcţie de viteză a unui motor derivaţie.

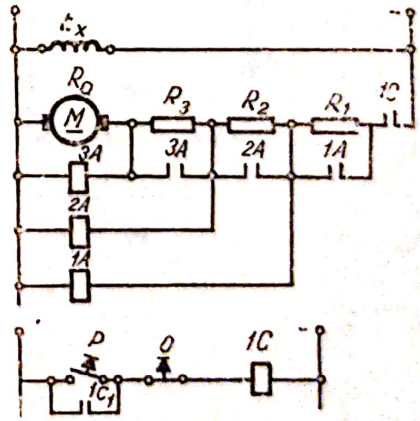


Fig. 4.8.20. Schema de pornire automată în funcţie de viteză a unui motor derivaţie.

Operaţia se repetă pînă cînd întreaga rezistenţă de pornire este scoasă din circuitul motorului.

Ca un dezavantaj al unei astfel de scheme de comandă trebuie considerat şi faptul că tensiunile pentru care intră în funcţiune contactoarele de accelerare sînt diferite. Acest dezavantaj poate fi înlăturat montînd contactoarele ca în schema din figura 4.8.20, cînd tensiunile de lucru pentru diferitele bobine vor fi:

$$U_{1A} = C_e \cdot n_1 + I_{min} \cdot (R_a + R_1 + R_2) \qquad (4.8.5)$$

$$U_{2A} = C_e \cdot n_2 + I_{min} \cdot (R_a + R_2) \qquad (4.8.6)$$

$$U_{3A} = C_e \cdot n_2 + I_{min} \cdot R_a \qquad (4.8.7)$$

Se poate observa că:

$$C_e \cdot n_1 + I_{min}(R_a + R_1 + R_2) \simeq C_e n_2 + I_{min}(R_a + R_2) \simeq C_e n_3 + I_{min} R_a.$$

Rezultă deci că bobinele contactoarelor se pot alege pentru aceaşi tensiune de intrare în funcţiune.

Comandă automată funcţie de curent. Se bazează pe măsurarea curentului maxim şi minim în timpul pornirii. Aşa cum s-a precizat, pentru o accelerare constantă a motorului în tot timpul pornirii, este necesar ca scoaterea rezistenţelor să se facă astfel ca la arborele motorului să acţioneze un cuplu constant, deci prin indusul motorului să treacă un curent constant. Pentru simplitatea construcţiei reostatul de pornire şi a schemei de comandă, se preferă să se lucreze la un cuplu de accelerare M, care să varieze între două limite: M_{max} şi M_{min}. Cuplul M trebuie să fie mai mare decît cuplul rezistent M_r, altfel motorul se opreşte. Deci curentul I_{min} nu trebuie să scadă la comutarea treptelor sub o anumită valoare, adică să fie mai mare decît I_r. Schemele se bazează pe existenţa unui releu maximal de intensitate care pentru orice curent mai mic decît valoarea I_{min} îşi închide contactele şi pentru orice curent mai mare decît valoarea minimă şi-l deschide.

În figura 4.8.21 este arătată schema pornirii automate în patru trepte funcţie de curent, a unui motor asincron cu rotorul bobinat.

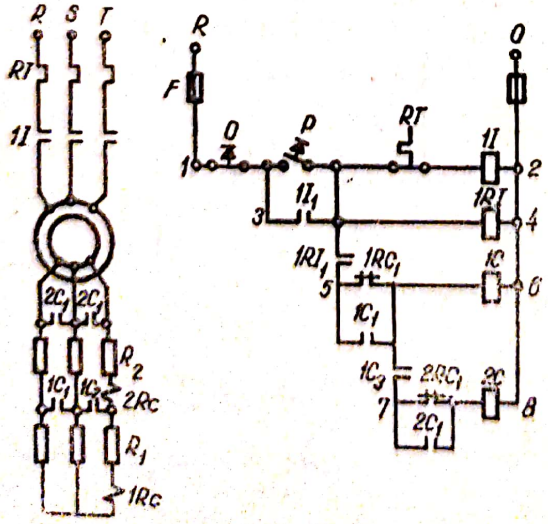


Fig. 4.8.21. Schema de pornire automată în funcţie de curent a unui motor asincron cu inele.

Prin apăsarea butonului P se determină stabilirea circuitului $1-2$, excitîndu-se înfăşurarea de comandă $1I$, care închide întrerupătorul. Acesta, prin contactul său auxiliar $1I_1$, face autocontact înfăşurării de comandă $1I$. Odată cu excitarea înfăşurării releului $1RI$ îşi închide contactul $1RI_1$. Curentul de pornire fiind mare, releele $1RC$, $2RC$ îşi închid contactele, iar motorul începe să funcţioneze după caracteristica artificială corespunzătoare întregii rezistenţe suplimentare din rotor. Curentul scade pe măsură ce motorul se accelerează, pînă cînd, la alunecarea de comutaţie corespunzătoare comutării pe a doua treaptă, releul $1RC$ se dezexcită prin contactul său normal închis, stabileşte circuitul $5-6$, excitîndu-se $1C$, care îşi face autocontact prin contactul său $1C_1$ astfel contactorul îşi închide contactele sale $1C_2$ şi $1C_3$, scurtcircuitînd prima treaptă a rezistenţei de pornire R_1.

La alunecarea de comutaţie, operaţia următoare se repetă cu releul $2RC$, care excită pe $2C$, făcînd ca motorul să funcţioneze după caracteristica naturală.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL V

INSTALAȚII ELECTRICE ȘI UTILIZĂRI ALE ENERGIEI ELECTRICE ÎN CONSTRUCȚII

5.1. MATERIALE ELECTROTEHNICE UTILIZATE ÎN INSTALAȚIILE ELECTRICE

5.1.1. Conductoare și cabluri electrice. Pentru realizarea circuitelor instalațiilor electrice se utilizează conductoare, bare și cabluri din cupru, aluminiu și oțel.

Pentru economisirea cuprului, în instalațiile electrice interioare de curenți tari, pînă la 1000 V se utilizează aluminiu, oțel sau oțel — aluminiu exceptînd clădirile și circuitele electrice la care se impun condiții speciale de protecție sau de pericol de incendiu.

Reglementarea folosirii conductoarelor de cupru sau de oțel și aluminiu este dată de normativele în vigoare.

Principalele proprietăți fizice ale acestor materiale conductoare, sînt indicate în tabele.

a) Conductoare neizolate pentru instalații aeriene. Se utilizează conductoare neizolate de cupru, aluminiu, oțel și oțel — aluminiu.

Conductoarele de cupru sînt masive, monofilare (pînă la secțiunea de 16 mm²) și multifilare (funie) de la secțiunea de 10 mm².

Avantajul conductoarelor în funie constă în : rezistența mecanică mărită, flexibilitate, răcire ușoară, deci densitate de curent mărită (fig. 5.1.1.a).

Conductoarele de aluminiu se execută de obicei în funie, cele masive neavînd rezistența mecanică suficientă.

Conductoarele de oțel — aluminiu se utilizează cînd conductoarele de aluminiu de aceeași secțiune nu au rezistența mecanică suficientă.

Partea conductoare este din aluminiu (figura 5.1.1.b) iar cea de rezistență mecanică din oțel.

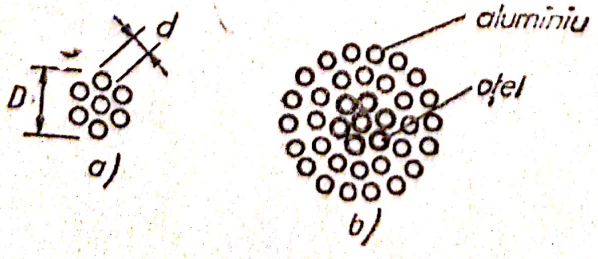


Fig. 5.1.1. Conductoare în funie :
a — din cupru, aluminiu sau oțel ;
b — din oțel-aluminiu.

Scanned with OKEN Scanner

Conductoarele din oțel au o utilizare mai restrînsă datorită rezistivității mari a fierului.

b) Bare conductoare. În instalațiile electrice se utilizează:
— bare din cupru dreptunghiulare (STAS—392—55), rotunde (STAS 391—54) sau tubulare (STAS 523—55).
— bare din aluminiu dreptunghiulare (STAS 3322—52), rotunde (STAS 2339—51) sau tubulare (STAS 524—49).
— bare din oțel dreptunghiulare STAS 908—59), rotunde (STAS 333—57) sau tubulare (STAS 403—57 și 5560—57).

c) Conducte izolate se folosesc în instalații fixe.

d) Cordoane cu izolație și manta de cauciuc. Sînt utilizate de obicei pentru instalații mobile.

e) Cabluri de energie. Se utilizează cabluri monofazice, bifazice sau trifazice cu trei sau patru conductoare.

Pentru tensiuni înalte, se utilizează cabluri de construcții speciale (de exemplu, cu ulei sub presiune).

f) Cabluri pentru instalații de control semnalizare, măsură și comandă. Principial forma constructivă, aranjamentul elementelor constructive și condițiile de utilizare ale acestor cabluri sînt aceleași ca și la tipurile corespunzătoare de cabluri de energie.

Legările între cabluri și conductoare, se asigură prin: papuci de cablu (Tab. 5.1.1. /1, 2, 3, 4); cleme de ramificație de la stîlp (Tab. 5.1.1) care se folosesc fixînd de o parte a clemei conductorul de linie iar de cealaltă conductorul derivat; cleme de înnădire (Tab. 5.1.1.) care permit legarea extremităților a două conductoare, realizînd continuitatea mecanică și electrică a liniei.

5.1.2. **Materiale electroizolante (dielectrici).** Sînt materiale care servesc la izolarea conductoarelor electrice între ele și față de mediul înconjurător, a căror proprietăți variază astfel: calitățile scad cu creșterea temperaturii; căldura de durată produce transformări structurale (chiar pentru valori mici, temperatura de durată produce îmbătrînire); variațiile bruște de temperatură produc fisurări; umezeala împregnînd materialul îi micșorează calitățile.

Caracterizarea materialelor electroizolante se face cu ajutorul următoarelor mărimi: rigiditatea dielectrică [kV/cm] caracterizată prin intensitatea cîmpului electric de străpungere (v. tab. 2.1.1 și paragr. 2.1.2); constanta dielectrică relativă ε_r (tab. 2.1.1 și paragr. 2.1.2); rezistența de volum $R_v[\Omega]$, adică rezistența electrică la trecerea curentului prin masa izolatorului (respectiv rezistivitatea de volum $\rho_v[\Omega \cdot m]$); rezistența de suprafață $R_s[\Omega]$ adică rezistența electrică la scurgerea curentului pe suprafața izolatorului (rezistivitatea de suprafață $\rho_s[\Omega \cdot m]$); rezistența echivalentă R a celor două rezistențe în paralel

$$R = \frac{R_v \cdot R_s}{R_v + R_s}\ [\Omega]; \quad \rho = \frac{\rho_v \cdot \rho_s}{\rho_v + \rho_s}\ [\Omega\ m]; \tag{5.1.1}$$

Tabela 5.1.1

Papuci de cablu. Cleme

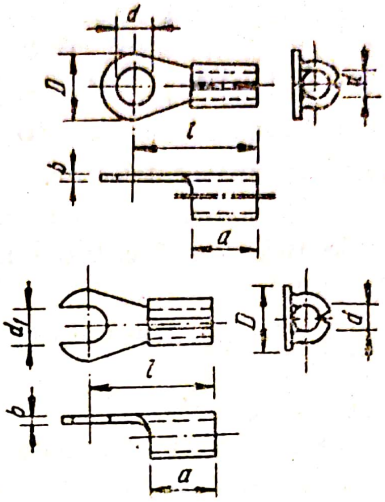
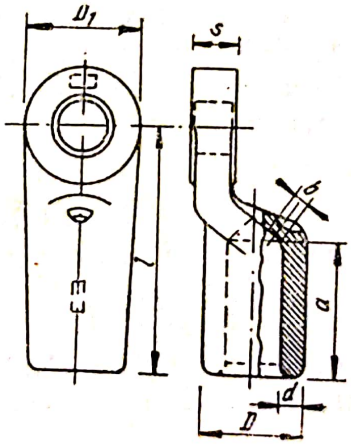
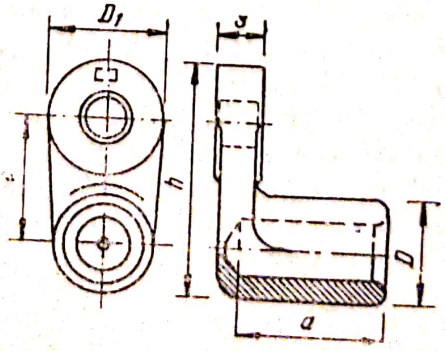
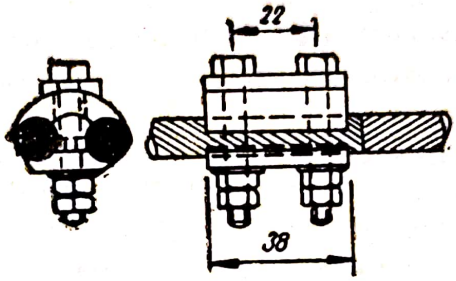
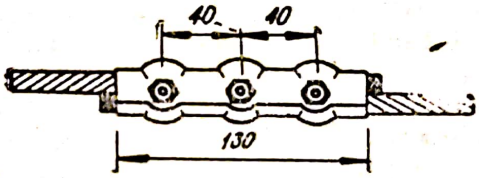
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
0	1	2	3
1	Papuci de cablu pentru conductoare de cupru multifilare		Stanțat
2			Presat drept
3			Presat îndoit la 90°

Tabela 5.1.1. (continuare)

0	1	2	3
4			Turnat
5	Cleme		De derivație
6			De înnădire

— factorul de pierderi dielectrice tg δ este raportul dintre componenta activă și cea reactivă a curentului absorbit într-un condensator avînd ca dielectric materialul izolant respectiv, la o anumită frecvență (v. fig. 5.1.2).

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{I_r}{I_c} = \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C}; \qquad (5.1.2)$$

— caracteristicile termice sînt: rezistența la încălzire (termică) sau stabilitatea termică [°C], temperatura de inflamabilitate, conductivitatea

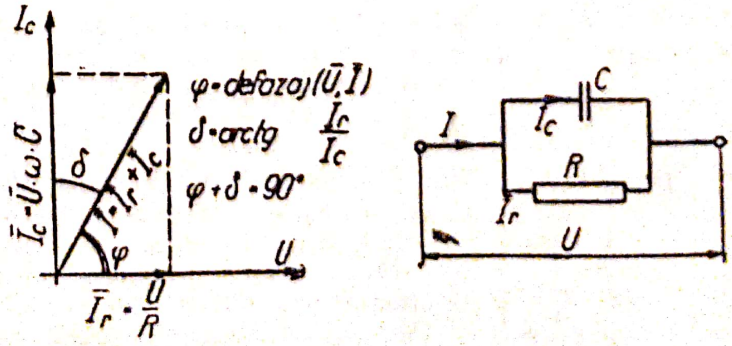


Fig. 5.1.2. Diagrama unui circuit *RC* paralel.

termică ; caracteristicile fizico-mecanice sînt : higroscopicitatea, permeabilitatea la umezeală, rezistenţa mecanică, fragilitatea, duritatea.

Condiţiile generale impuse materialelor electroizolante sînt : tensiune de străpungere mare ; rezistenţă mecanică mare ; rezistenţă termică mare ; pierderi dielectrice şi conductivitate mici ; higroscopicitate şi permeabilitatea umezelii mici, etc.

Principalele materiale izolante sînt indicate, în funcţie de temperatura de utilizare, în tabela 5.1.2. În continuare se dau principalele utilizări ale materialelor electroizolante folosite în instalaţii :

Tabelul 5.1.2.

Clasificarea materialelor electroizolante după temperatura de utilizare

Simbolul clasei de izolaţie	Temperatura care caracterizează stabilitatea termică a materialului din clasa corespunzătoare °C	Lista principalelor grupe de materiale electroizolante care corespund clasei de izolaţie, în ceea ce priveşte stabilitatea termică
Y	90	Izolaţii compuse din bumbac, mătase, sau hîrtie fără a fi impregnate sau introduse în lichide electroizolante şi alte materiale sau combinaţii de materiale, dacă experienţa sau încercările au arătat că sînt indicate să funcţioneze la temperatura clasei *Y*
A	105	Izolaţii compuse din bumbac, mătase sau hîrtie, impregnate sau introduse în lichide electroizolante şi alte materiale sau combinaţii de materiale, dacă experienţa sau încercările au arătat că sînt indicate să funcţioneze la temperatura clasei *A*
E	120	Unele pelicule organice sintetice precum şi diferite materiale sau combinaţii de materiale, dacă experienţa sau încercările au arătat că sînt indicate să funcţioneze la temperatura clasei *E*
B	130	Materiale pe bază de mică, fibre de sticlă, azbest cu lianţi organici şi compounduri de impregnare corespunzătoare precum şi alte materiale sau combinaţii de materiale, dacă experienţa sau încercările au arătat că sînt indicate să funcţioneze la temperatura clasei *B*
F	155	Materiale pe bază de mică, azbest şi fibre de sticlă cu lianţi şi compounduri de impregnare corespunzătoare precum şi alte materiale anorganice sau chiar organice, dacă experienţa sau încercările au arătat că sînt indicate să funcţioneze la temperatura clasei *F*
H	180	Materiale pe bază de mică, azbest sau fibre de sticlă cu lianţi şi compounduri silico-organice (elastomeri silico-organici) precum şi alte materiale sau combinaţii de materiale, dacă experienţa sau încercările au arătat că sînt indicate să funcţioneze la temperatura clasei *H*
C	peste 180	Materiale pe bază de mică, porţelan, cuarţ, sticlă cu sau fără lianţi anorganici şi alte materiale sau combinaţii de materiale care în urma experienţei sau încercărilor rezultă că pot fi utilizate la temperaturi superioare clasei *H*. Temperatura de utilizare a acestor materiale este limitată de caracteristicile lor fizice, chimice şi electrice

Scanned with OKEN Scanner

5.1.2.1. *Izolatoare.* Cele mai uzuale tipuri de izolatoare utilizate în instalațiile electrice, pentru realizarea izolației electrice, sînt:

a) Izolatoare-rolă pentru instalații interioare. Sînt corpuri din porțelan emailat pe care se fixează conductoarele electrice, tipurile produse fiind indicate în tabela 5.1.3.

b) Izolatoare suport de interior. Se produc tipurile: izolatoare suport, tip SAL (sau SBI) cu armare exterioară, izolator suport, tip SAI1 cu armare interioară.

c) Izolatoare de trecere. Se utilizează tipurile: izolator de trecere TB1 (sau TC1), interior-interior izolator de trecere T Be 1, interior-exterior.

d) Izolatoare pentru linii aeriene de 1 kV. Sînt de tipurile: izolator de susținere, tip N; izolator de tracțiune, tip T; idem, tip TD izolator de siguranță.

e) Izolatoare pentru înaltă tensiune. Sînt de mai multe tipuri dintre care amintim: izolatorul delta, utilizat pînă la 35 kV și izolatorul cu tijă și calotă care este tipul de izolator suspendat; avînd posibilitatea de a lega în lanț mai multe izolatoare de acest fel, ele se utilizează la linii de tensiuni înalte peste 35 kV.

Pentru fixarea izolatoarelor, în interior sau pe stîlpi se utilizează suporții de diferite forme și dimensiuni (Tab. 5.1.3).

5.1.2.2. *Tuburi izolante și de protecție. a) Tuburi cu manta din P.C.V.* Au următoarele caracteristici și indicații generale de utilizare: rezistă la acțiunea corozivă a materialelor utilizate în construcții (var, ciment, ipsos, etc); tensiunea de străpungere este de 12 kV/mm; ard numai la flacără întreținută, încetînd să ardă la maximum 15 secunde după îndepărtarea flăcării; se pot îndoi numai la cald, suportînd îndoiri pînă la 90° cu raza minimă de trei ori diametrul exterior; absorbția de apă este de maximum 0,4%.

Condiții de temperatură: la manipulare, între 5 și 40°C, iar în exploatare între −25 și +40°C; sînt inferioare din punct de vedere mecanic tuburilor metalice, evitîndu-se utilizarea lor în locuri expuse loviturilor; se pot monta îngropat sau aparent, dar numai pe suporturi necombustibile; nu se pot utiliza la instalații ce necesită siguranță mărită în funcționare (ex. instalații de semnalizarea incendiilor).

b) Tuburi cu manta din bandă de oțel. Au avantajul unor calități mecanice superioare față de tuburile *PCV* și al folosirii la orice temperaturi. Utilizarea lor este indicată numai acolo unde nu este posibilă folosirea tuburilor *PCV*. Sînt de două tipuri: tuburi cu manta rigidă și tuburi flexibile, utilizate pentru racordări sau pe trasee sinuoase.

c) Țevi din oțel pentru instalații. Se utilizează pentru protecția mecanică și pentru etanșarea instalațiilor în medii uscate, cu praf, umede necorosive și în cele cu pericol de explozie și incendii (Categoriile A, B, C din M.P.C.I.-64). Caracteristicile lor sînt fixate prin STAS 403—57 și 5560—57.

d) Tuburi de beton. Se produc următoarele tipuri: tuburi cu mufe (STAS 816—63); tuburi bloc cu patru găuri (STAS 4905—60).

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 5.1.3.

Izolatoare. Suporţi

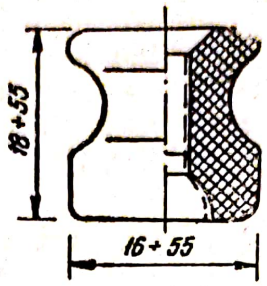
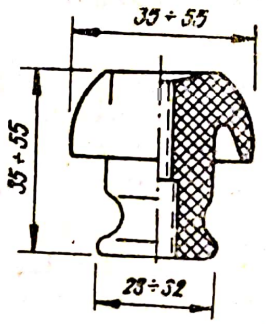
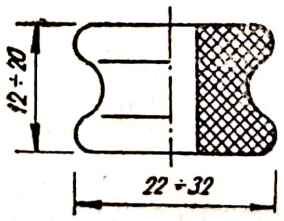
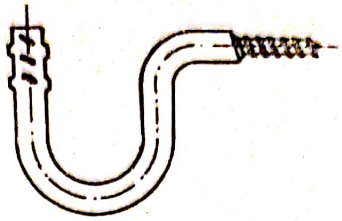
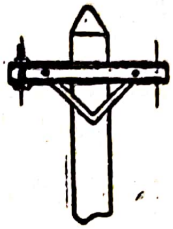
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observaţii
0	1	2	3
1	Izolatoare rolă		Tip R (rolă)
2			Tip R_c (rolă clopot)
3			Tip R_m (rolă mosor)
4	Suporţi		Drept

Tabela 5.1.3. (continuare)

0	1	2	3
5			Curb
6			Stîlp cu traversă și suporți

Ele se utilizează pentru protejarea suplimentară mecanică a cablurilor sau pentru a asigura trecerea cablurilor prin fundații, subtraversări de construcții etc.

Accesoriile necesare în montarea tuburilor sînt: scoabele de fixare din oțel, folosite la montarea aparentă a tuburilor; manșoanele de legătură servind la îmbinarea tuburilor sau țevilor; coturile și curbele servesc la devierea tubului cu 90° (la tuburi PCV, P, IP, țevi); teurile dau posibilitatea efectuării de ramificații de 90° (la tuburi PCV, P, IP, țevi); dozele de ramificație sînt cutii rotunde sau patrate cu capac, prevăzute cu găuri laterale în care se introduc tuburile, confecționate din tablă de oțel moale acoperită cu plumb sau din fontă (tab. 5.1.4).

Pentru tablourile de distribuție se utilizează un alt material izolator, marmora, dimensiunile plăcilor de marmoră fiind standardizate conform STAS 2380—55.

5.1.2.3. *Stîlpi.* În continuare, urmărind criteriul grupării materialelor și elementelor necesare instalațiilor electrice, se vor da rezumativ indicații referitoare la diversele categorii de stîlpi și domeniile lor de utilizare.

Stîlpii sînt elementele de susținere ale liniilor aeriene și se execută din lemn, metal sau beton armat.

Stîlpii de lemn, se utilizează la linii de joasă și înaltă tensiune, de obicei pînă la 35 kV. Sînt executați din lemn de conifere, stejar sau salcîm și se impregnează cu săruri minerale contra putrefacției. Uneori se fixează în soclu de beton. Se folosesc ca stîlpi de susținere terminali sau de colț, de întindere și în înalta tensiune la linii cu izolatoare suspendate. Primele tipuri se utilizează și la rețelele de telecomunicații (Tab. 5.1.5).

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 5.1.4.

Elemente folosite în instalațiile electrice

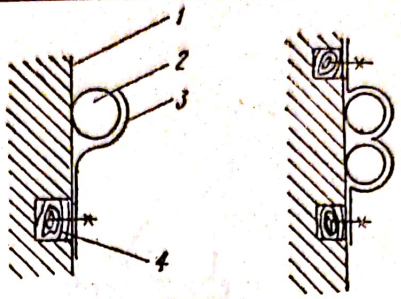
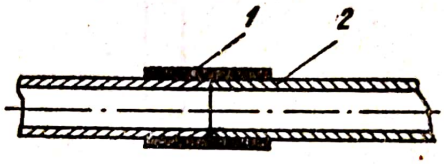
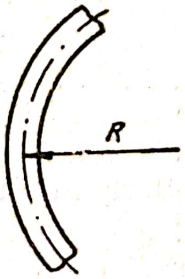
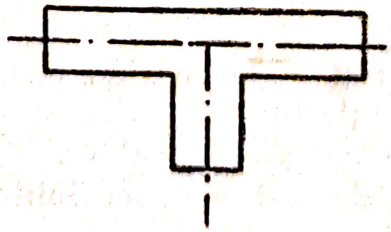
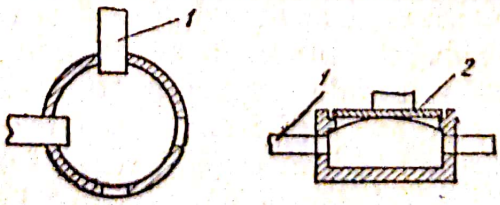
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
0	1	2	3
1	Scoabe de fixare		*1* — zid; *2* — tub; *3* — scoabă; *4* — diblu din lemn
2	Manșon de legătură		*1* — manșon; *2* — tub
3	Cot		*r* — raza de curbură
4	Curbă		*R* — raza de curbură
5	Teu de ramificație		
6	Doză de ramificație		*1* — tub; *2* — capac

Tabela 5.1.5

Stîlpi

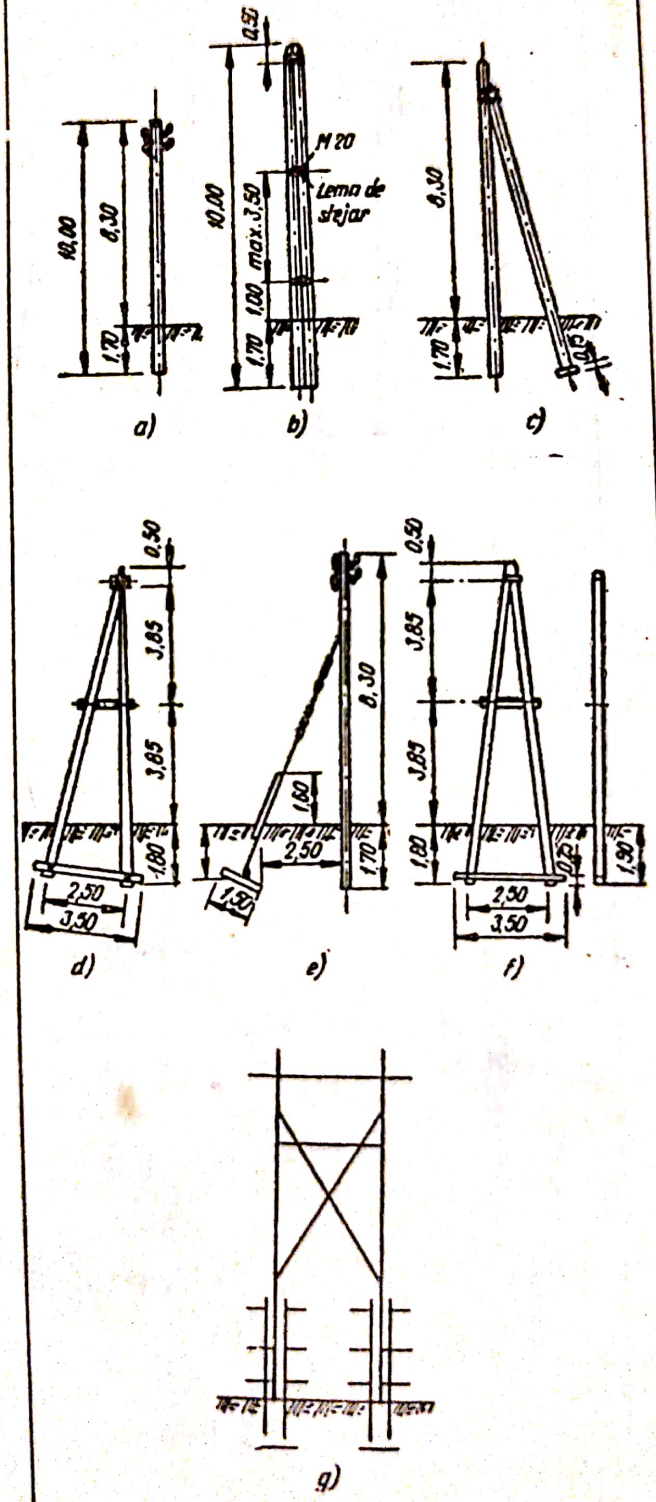
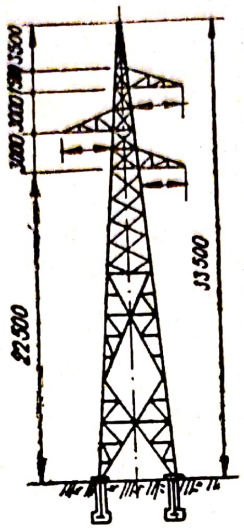
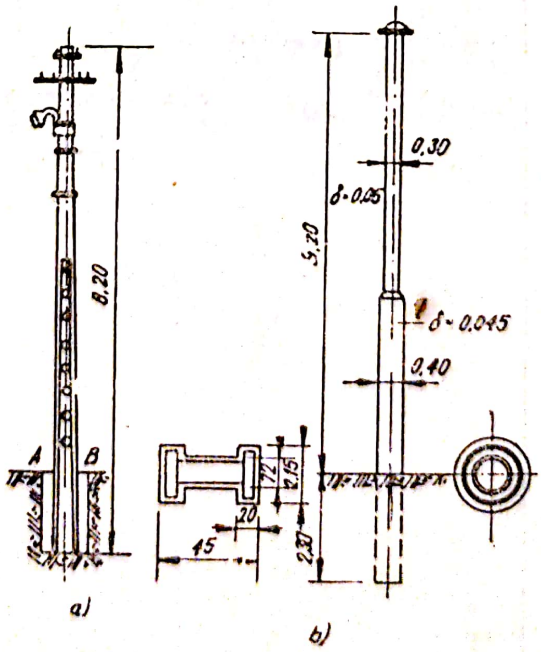
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
0	1	2	3
1	Stîlpi de lemn		*a)* — simplu ; *b)* — dublu ; *c)*, *d)* — proptit ; *e)* — ancorat ; *f)* — în A ; *g)* — portal

Tabela 5.1.5. (continuare)

0	1	2	3
2	Stîlp metalic		
3	Stîlp de beton armat		*a)* — cu secțiune dublu T; *b)* — cu secțiune inelară

Scanned with OKEN Scanner

Stîlpii metalici sînt stîlpi cu zăbrele cu baza încastrată într-un bloc de fundație din beton armat, îngropat în pămînt și se utilizează la liniile de înaltă tensiune de peste 35 kV.

Stîlpii din beton armat se utilizează la linii pînă la 15 kV. Manipularea lor este pretențioasă pînă la instalare, după care nu mai necesită întreținere. La cei cu secțiune inelară conductoarele se introduc prin golul interior, stîlpul fiind prevăzut cu deschizături, la partea superioară și inferioară, pentru efectuarea legăturilor electrice.

5.2. PRODUCEREA ENERGIEI ELECTRICE

Energia sub formă electrică, se obține prin transformarea altor forme de energie pe care le conține materia. Această transformare, în scopuri industriale, se efectuează în centrale electrice, situate cît mai aproape de sursele de energie naturală (gaz, cărbune, petrol, căderi de apă) echipate în acest scop, cu generatoare electrice. Centralele moderne, de puteri mari, care sînt cele mai economice, sînt echipate, de obicei, cu generatoare de curent alternativ, cu tensiunea nominală de 6...15 kV. Pentru puteri mici, se folosesc și generatoare cu tensiuni nominale sub 1 kV.

După natura surselor de energie primară, naturală, care se transformă în energie electrică, centralele uzuale sînt de următoarele tipuri:

a) Centrale termoelectrice (fig. 5.2.1), în care energia calorică obținută prin arderea combustibililor servește la acționarea unor mașini de forță (turbine cu abur, cu gaz, motoare Diesel și cu explozie), care antrenează generatoarele electrice.

În prezent, se dovedesc a fi foarte economice centralele cu termoficare în care se efectuează producerea combinată a energiei electrice și termice. Aceasta reprezintă o combinare energo-tehnologică, în care aburul cu parametrii ridicați, este folosit atît pentru producerea energiei electrice, cît și pentru încălzire (în diferite procese tehnologice, încălzirea locuințelor, etc.).

b) Centrale hidroelectrice (fig. 5.2.2.), în care energia mecanică a căderilor de apă pune în mișcare turbine hidraulice, care antrenează generatoarele electrice.

c) Centrale eoliene în care energia mecanică a vîntului e folosită pentru a roti un sistem de palete fixate pe un ax, care, prin intermediul unui mecanism de transmisie, pune în mișcare generatorul electric. Sînt centrale mici, de 5—50 kW, folosite în regiuni unde vînturile au o stabilitate mai mare.

d) Centrale atomo-electrice care folosesc energia de dezagregare a elementelor radioactive, și prin intermediul unor instalații termice și mecanice pun în mișcare generatoarele electrice. De fapt, în stadiul actual, acestea sînt centrale termice, cu combustibil nuclear. În prezent se caută metode industriale pentru transformarea directă a energiei atomice în energie electrică.

Scanned with OKEN Scanner

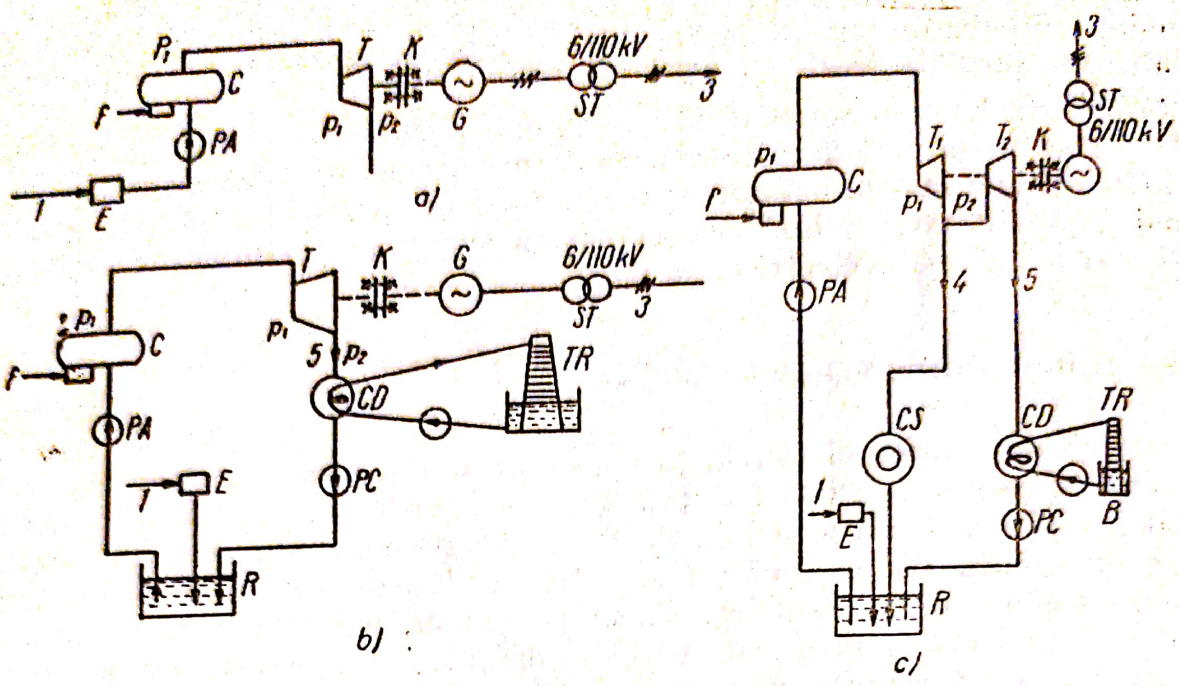


Fig. 5.2.1. Schemele de principiu ale centralelor termoelectrice:
a — fără condensaţie; *b* — cu condensaţie; *c* — cu termoficare; *1* — conducta de alimentare cu apă; *E* — instalaţia de epurare a apei; *PA* — pompa de alimentare cu apă; *C* — cazan; *f* — focarul cazanului; *T* — turbină cu aburi; *T1*, *T2* — turbină cu aburi cu destindere fracţionată (în trepte); *G* — generator electric; *K* — cupla dintre turbină şi generator; *ST* — staţie de transformare ridicătoare de tensiune; *3* — linie de înaltă tensiune; *2*, *5* — conductă de evacuare a aburului folosit; *CD* — condensator; *TR* — turn de răcire a apei de răcire din condensator; *PR* — pompa de circulaţie a apei de răcire; *B* — bazin pentru apa de răcire; *PC* — pompa de condensare; *R* — rezervor pentru condensat şi pentru apa de completare a pierderilor de apă şi de condens; *CS* — consumator de căldură; *4* — conducta de termoficare; p_1, p_2, p_3 — presiuni la intrările şi ieşirile din turbina cu o singură treaptă sau cu mai multe trepte.

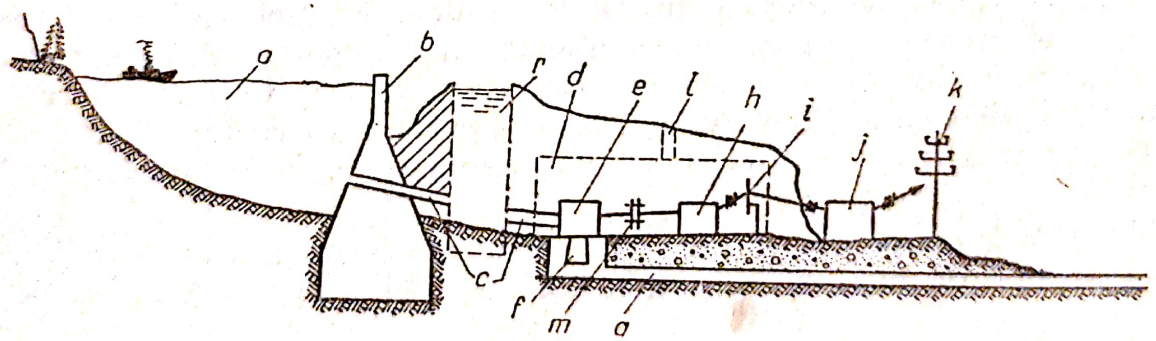


Fig. 5.2.2. Schema de principiu a unei centrale hidroelectrice:
a — lac de acumulare; *b* — baraj; *c* — conducta de aducţiune; *e* — camera turbinei, cu turbina hidraulică; *f* — tub de evacuare a apei; *g* — canal de evacuare; *h* — generator electric; *j* — staţie de transformare ridicătoare de tensiune; *d* — clădirea centralei; *i* — barele colectoare ale centralei; *k* — stîlp de înaltă tensiune, din linia de transport a energiei electrice; *r* — rezervor de alimentare; *m* — cuplă.

e) Grupuri electrogene, formate dintr-un motor termic primar, care acţionează un generator electric, folosite ca centrale electrice proprii, de puteri mici, pe şantiere fiind utilizate următoarele tipuri: 1 — grupuri mobile, folosite pentru alimentarea de scurtă durată cu energie electrică, montate, de obicei pe cărucioare, remorci, vagonete sau autocamioane, în ultimul caz

generatorul fiind acționat de motorul camionului ; 2 — grupuri staționare, folosite pe șantiere mari, pentru alimentarea de lungă durată cu energie electrică, montate pe sol.

În tabela 5.2.1, se dau caracteristicile principale ale unor grupuri electrogene folosite la noi în țară.

Tabela 5.2.1

Caracteristicile unor grupuri electrogene

Tipul grupului electrogen	Tipul motorului	Tipul generatorului	Puterea nominală a motorului CP	Puterea aparentă a generatorului kVA	Tensiunea între faze V	Turația nominală rot/min
GTE 4/400 *TS*	*TN* 16	*SC* 4/400 *TS*	6	4	400	1500
GTE 4/231 *TS*	*TN* 16	*SC* 4/231 *TS*	6	4	231	1500
GTE 30/400 *TS*	*D*— 107	*SC* 30/400 *TS*	45	30	400	1500
GTE 30/231 *TS*	*D*— 107	*SC* 30/231 *TS*	45	30	231	1500
GTE 100/400 *TS*	*SDRG*—170	*SC* 100/400 *TS*	170	100	400	1500

În prezent, centralele de bază sînt cele termo și hidroelectrice.

5.3. TRANSPORTUL ȘI DISTRIBUȚIA ENERGIEI ELECTRICE

5.3.1. **Rețele electrice.** Transportul și distribuția energiei electrice de la locul de producere pînă la locul de consum, se face cu ajutorul rețelelor electrice, care, după mărimea tensiunii de funcționare, se pot clasifica astfel:

a) Rețele de înaltă tensiune (35, 60, 110, 220, 400 kV) ; servesc ca linii de transport a energiei electrice pe distanțe mari, din cauză că transportul energiei electrice în înaltă tensiune necesită secțiuni mai mici ale conductoarelor liniilor de transport, decît în joasă tensiune, fiind deci mai economic.

b) Rețele de medie tensiune (6 ; 10; 20 kV) ; se folosesc pentru alimentarea stațiilor de transformare a rețelei de joasă tensiune din centrele urbane, alimentarea localităților rurale, a șantierelor, sau distribuirea energiei în regiuni industriale (petrolifere, carbonifere, etc).

c) Rețele de joasă tensiune (pînă la 0,38 kV) ; servesc la transportul energiei electrice pe distanțe scurte și la distribuirea ei la consumatori de putere mică.

Legătura între rețele se face prin intermediul stațiilor de transformare, așa cum se arată în exemplul din figura 5.3.1.

După modul și locul de așezare al conductoarelor, rețelele pot fi de următoarele feluri:

5.3.1.1. *Rețele aeriene.* Se construiesc în aer liber, prin întinderea conductoarelor și fixarea lor pe izolatoare susținute de stîlpi sau de alt suport.

Stîlpii au diferite forme și dimensiuni în funcție de tensiunea rețelei și de destinația ei, precum și de rolul pe care îl au ei în linie.

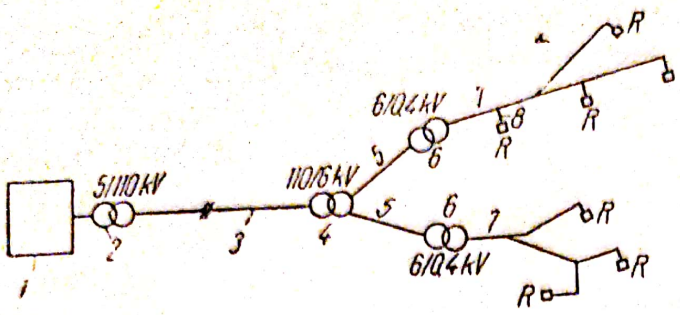


Fig. 5.3.1. Schema de principiu a unei reţele de transport şi distribuţie a energiei electrice:

1 — centrală electrică; *2* — staţie de transformare ridicătoare de tensiune; *3* — linie de transport de înaltă tensiune; *4* — staţie de transformare coborîtoare de tensiune; *5* — linie de alimentare (feeder); *6* — substaţie de transformare coborîtoare de tensiune; *7* — reţea de distribuţie de joasă tensiune, exterioară; *8* — branşament; *R* — consumatorul cu reţeaua de distribuţie interioară de joasă tensiune.

Stîlpii sînt plantaţi în pămînt, direct sau prin intermediul unor fundaţii de beton. Ei sînt echipaţi cu traverse sau suporţi, care susţin izolatoarele.

Izolatoarele folosite în reţelele aeriene sînt corpuri din porţelan emailat, pe care se fixează conductoarele străbătute de curentul electric, pe care le izolează faţă de suporţi şi de stîlpi. Forma şi dimensiunilelor, diferă în funcţie de destinaţia şi de tensiunea liniei.

Conductoarele reţelelor aeriene constituie mediul de propagare al curentului electric. Ele sînt neizolate, cu excepţia branşamentelor şi a unor traversări. Sînt masive sau multifilare, confecţionate din cupru, aluminiu, oţel sau oţel-aluminiu (fig. 5.1.1).

5.3.1.2. *Reţele subterane.* Sînt constituite din conducte electrice, numite cabluri, pozate subteran, care prezintă o siguranţă mai mare în exploatare şi sînt mai estetice, astfel că se folosesc în reţelele de distribuţie din oraşele mari, sau în instalaţii care impun anumite condiţii de exploatare.

Cablurile folosite sînt cu manta de plumb, introduse în tuburi de protecţie (de beton sau metalice), sau cabluri armate, îngropate direct în pămînt, avînd un număr de faze corespunzător sistemului de distribuţie folosit.

În afara clădirilor, cablurile se aşază în şanţuri (canale) sau tuburi de protecţie, la o adîncime variabilă între 0,7—1,2 m, în funcţie de tensiunea de lucru. Între cabluri şi la partea lor superioară se aşază cărămizi pentru protecţia contra loviturilor. În canale se prevede un strat permeabil de nisip, pentru a se evita stagnarea apei. Cablurile se pozează cu ondulaţii, care permit o oarecare alungire la tasarea terenului. Astuparea şanţurilor se face cu pămînt bătătorit (tab. 5.3.1).

În interiorul clădirilor, cablurile se pot aşeza în canale acoperite cu plăci de tablă sau beton, sau se fixează aparent pe zid şi pe tavan, cu ajutorul consolelor cu brăţări sau pe plăci de beton susţinute de console.

La aşezarea mai multor cabluri în acelaşi canal, se admite o încărcare mai mică de curent, faţă de cea normală, pentru a compensa creşterea de temperatură rezultată prin îngrămădirea lor.

Pentru înădirea cablurilor şi executarea derivaţiilor se folosesc manşoane de legătură, de derivaţie sau terminale (cutii terminale), din fontă, plumb, sau fontă căptuşită cu plumb (tabel 5.3.1/2).

La trecerea prin ziduri se foloseşte un tub de protecţie din fontă sau oţel, fixat cu o pantă de 2% spre exterior pentru scurgerea apei (tabela 5.3.1/3).

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 5.3.1.

Așezarea și montarea cablurilor

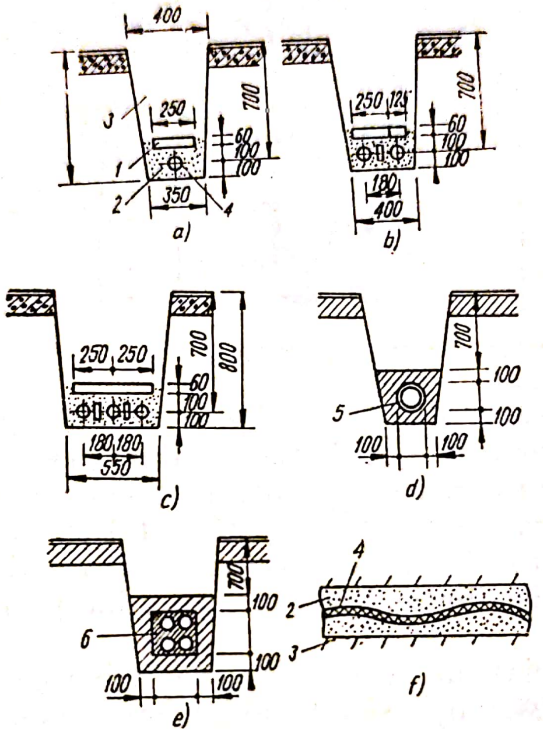
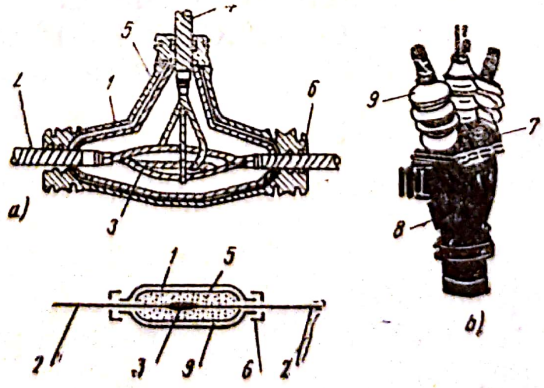
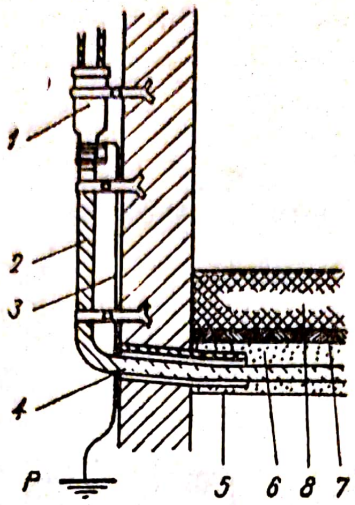
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
0	1	2	3
1	Așezarea cablurilor		*a, b, c)* — îngropat în pământ; *d)* — în blocuri de beton; *f)* — așezarea cablului cu ondulații; *1)* — cărămidă; *2)* — nisip; *3)* — canal (șanț); *4)* — cablu ondulat; *5, 6)* — tub de protecție cu unul și cu patru canale
2	Manșon		*a)* — derivație; *b)* — terminal; *c)* — de legătură *1)* — corpul exterior al manșonului; *2, 4)* — cabluri electrice; *3)* — legătura dintre cabluri; *5)* — corpul interior al manșonului; *6)* — piese de etanșare; *7)* — capac; *8)* — corp; *9)* — izolatori

Tabela 5.3.1. (continuare)

0	1	2	3
3	Traversarea unui zid		*1)* — cutie terminală; *2)* — cablu armat; *3)* — conductor de protecţie legat la priza de pământ *p* ; *4)* — legătura de fixare a cablului; *5)* — tub de protecţie din oţel; *6)* — nisip; *7)* — cărămidă; *8* — sol sau pardosea.

5.3.1.3. *Branşamentul sau racordul* este o reţea care transportă energia electrică de la reţeaua de distribuţie la tabloul general al consumatorului.

Branşamentele sînt aeriene sau subterane, de înaltă sau de joasă tensiune. Ele se compun din racordul exterior şi racordul interior aflat pe terenul sau în clădirea consumatorului. Instalaţia consumatorului propriu zisă începe de tabloul general de distribuţie, branşamentul fiind proprietatea întreprinderii de electricitate.

Branşamentul aerian de joasă tensiune face legătura între un stîlp al reţelei aeriene de distribuţie şi tabloul general de distribuţie, avînd următoarele elemente componente:

— cleme de ramificaţie de la stîlp (tab. 5.1.2)

— siguranţe aeriene (tab. 5.3.3), montate pe conductoarele de fază, dar nu şi pe conductorul neutru; sînt de trei tipuri: 15 A; 30 A; peste 30 A.

— conductoarele branşamentului, care sînt izolate (MF 500; FIC 500) cu secţiunea minimă admisă de 6 mm² (Cupru) şi 16 mm² (aluminiu); pentru puteri mari se folosesc conductoare neizolate (blanc).

Lungimea maximă admisă pentru racordurile aeriene este de 20 m, iar înălţimea maximă de la sol de 3,5 m la traversări normale şi de 5 m la traversarea căilor de acces. Distanţa minimă admisă între conductoare, este de 20 cm.

Intrarea în clădire se face direct, cu izolatoare de perete, sau indirect prin console cu suporţi laterale sau console cu trecere prin acoperiş, ultimele fiind ancorate în şarpanta acoperişului, iar trecerea prin acoperiş făcîndu-se cu pîlnie de etanşare (fig. 5.3.2).

Branşamentul subteran de joasă tensiune, se efectuează cu un cablu subteran, care se termină într-o cutie de branşament, prevăzută cu siguranţe, în care legările conductoarelor se fac cu cleme de legătură (tab. 5.1.2).

Scanned with OKEN Scanner

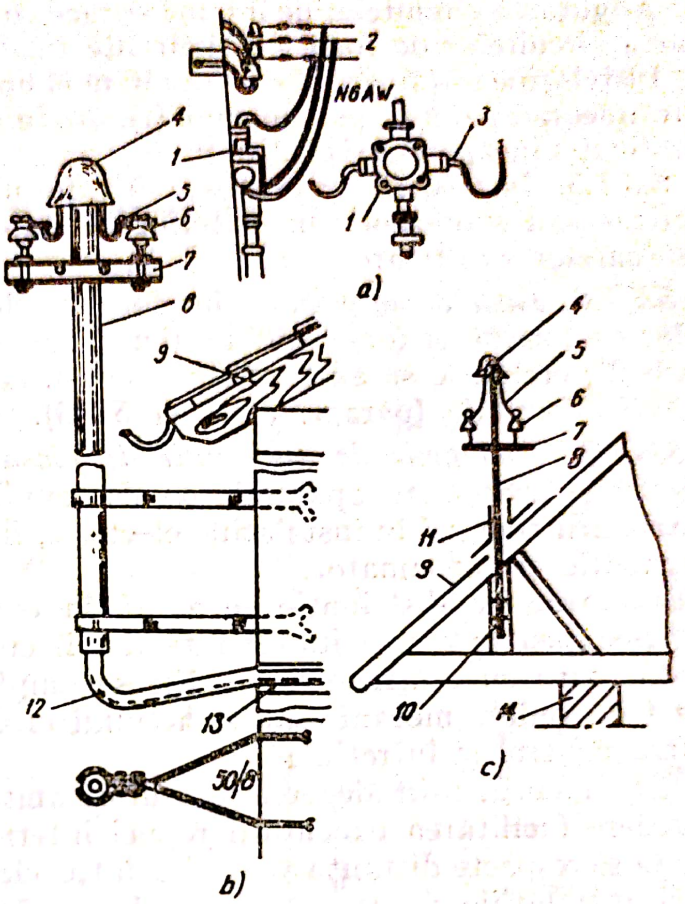


Fig. 5.3.2. Racord aerian:
a — cu izolatoare de perete; *b* — cu consolă cu suporturi laterale; *c* — cu consolă de acoperiș; *1* — cutie etanșă din fontă; *2* — rețea aeriantă; *3* — pipă de porțelan; *4* — capac de etanșare; *5* — clemă de ramificație; *6* — izolator pentru legarea conductei rețelei de alimentare; *7* — consolă de oțel cu suporți pentru izolatoare; *8* — țeava de oțel; *9* — acoperiș; *10* — dispozitiv de fixare a consolei; *11* — pîlnie de etanșare; *12* — cablu; *13* — traversare; *14* — zidărie.

De la cutie se merge la contorul de energie electrică, apoi la tabloul de distribuție general, unde se termină branșamentul. Legăturile în cutie, se fac cu papuci de cablu.

5.3.1.4. *Instalațiile interioare*, sînt formate de rețelele de distribuție din interiorul clădirilor.

Instalațiile de iluminat servesc pentru alimentarea cu energie electrică a lămpilor electrice. Circuitele de lumină sînt monofazate. Un circuit monofazat cu tensiunea de 220 V poate cuprinde pînă la 12 lămpi, cu o putere totală de 1200 W. Circuitele monofazate de 110 V pot alimenta șase lămpi cu o putere totală de 600 W.

Instalațiile de forță servesc pentru alimentarea cu energie electrică a receptoarelor de forță (motoare electrice, cuptoare electrice, transformatoare de sudură, redresoare, aparate industriale, etc.) Circuitele de forță sînt, în general, trifazate și se execută separat de cele de lumină.

Circuitele pentru prize monopolare se execută separat, putîndu-se monta pînă la șase prize pe un circuit de 220 V ; puterea totală se consideră de 800 W, admițîndu-se că numai la o parte de prize se conectează simultan aparate casnice (radio, încălzitor, răcitor, fier de călcat, ventilator, etc), fiind așadar, o putere simultană.

Prizele tripolare se montează în circuitele de forță, deoarece ele alimentează receptoare de forță (trifazate).

Asigurarea circuitelor de lumină se face cu siguranţe fuzibile sau automate, iar a circuitelor de forţă cu siguranţe fuzibile şi întrerupătoare automate.

Instalaţiile interioare se execută în mod normal îngropat, sub tencuială(st), iar uneori aparent, pe tencuială(t), în funcţie de specificul instalaţiei şi destinaţia încăperilor şi clădirilor.

5.3.1.5. *Instalaţiile exterioare*, sînt formate de reţelele de distribuţie, aeriene sau subterane, din exteriorul clădirilor, folosite la alimentarea receptoarelor exterioare.

5.3.1.6. *Instalaţiile mobile*, sînt formate de reţelele electrice ale receptoarelor de lumină şi forţă, mobile (autovehicole, electrocare, macarale, excavatoare, etc). Ele se execută, în general, aparent, cu cabluri, conductoare tuburi flexibile (paragr. 5.1.1 şi 5.1.3).

5.3.1.7. *Tablourile de distribuţie de joasă tensiune* sînt dispozitive care fixează şi protejează aparatele de manevră, măsură şi protecţie, necesare distribuirii energiei în instalaţiile electrice, fiind intercalate între reţeaua de distribuţie şi consumator.

Tablourile de distribuţie se aşază în centrul de greutate al încărcării electrice, pentru a se evita circuite lungi, cu căderi de tensiuni mai mari şi conductoare cu secţiune mare. Ele se amplasează în locuri protejate din punct de vedere mecanic sau al acţiunii mediului, cu posibilităţi de acces, pentru control şi întreţinere.

De asemenea, prin alegerea locului de amplasare a tabolului, se va avea în vedere facilitarea executării reţelei interioare, ţinîndu-se seama că trebuie să se respecte distanţa prescrisă între elementele componente ale reţelei şi instalaţiile de apă, gaz, canal şi coşuri, conform normelor de tehnica securităţii (N.T.S).

După locul de aşezare, avem: tabloul general, de la care se alimentează întreaga instalaţie a consumatorului; tablouri principale, care deservesc un sector al instalaţiilor; tablouri secundare, care deservesc un grup restrîns de consumatori.

După rolul îndeplinit, tablourile sînt de lumină (alimentează şi prizele monofazice), de forţă, de semnalizare, etc.

După felul protecţiei contra acţiunilor exterioare, se deosebesc următoarele categorii de tablouri:

— Tablouri neprotejate sau deschise (tab. 5.3.2.) la care aparatajul şi barele sînt în contact direct cu mediul înconjurător; se folosesc în încăperi uscate, fără praf, vapori, gaze, fără pericol de incendiu; prin modul lor de montare ele nu trebuie să permită atingerea accidentală a părţilor aflate sub tensiune.

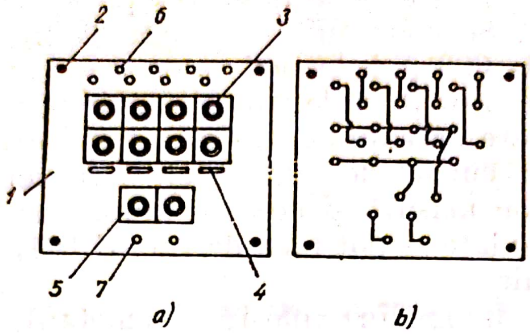
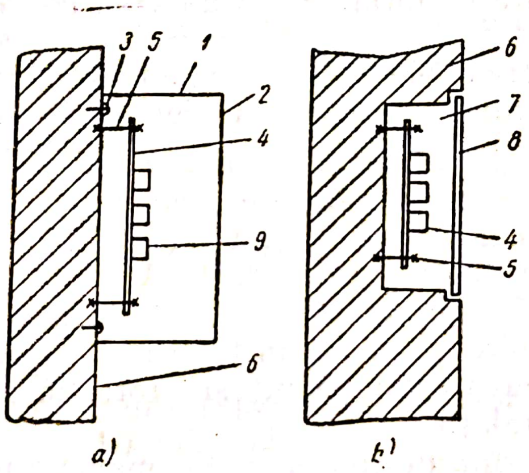
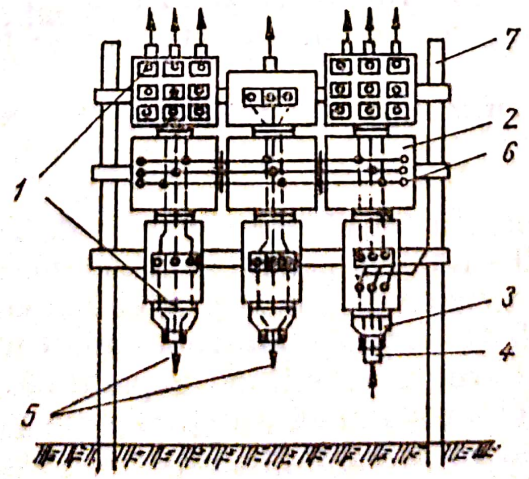
Aceste tablouri se execută de obicei din plăci de marmoră montate pe zid (în locuinţe şi instalaţii mici) sau pe schelet metalic (în ateliere şi instalaţii mari).

— Tablouri protejate (tab. 5.3.2), care se realizează prin închiderea unui tablou neprotejat, în nişte sau în cutii protectoare. Nu pot fi instalate în încăperi cu mult praf, multă umiditate, gaze şi cu pericol de incendiu

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 5.3.2.

Tablouri de distribuție

Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
0	1	2	3
1	Tablou deschis (cu 4 circuite monofazice echipat cu siguranțe fuzibile		*a)* — vedere frontală; *b)* — schema legăturilor; *1)* — placă de marmoră; *2)* — șurub de fixare; *3, 4, 5, 6, 7* — echipamentul tabloului
2	Tablou protejat		*a)* — în cutie de protecție; *b)* — în nișe; *1* — cutie de protecție; *2* — capac (nișe); *3* — șurub de fixare a cutiei; *4* — tablou de marmoră; *5* — șurub de fixare a tabloului; *6* — zid; *7* — nișe; *8* — ușa nișei; *9* — aparate
3	Tablou capsulat		*1* — cutie cu siguranțe; *2* — cutie cu bare; *3* — cutie terminală; *4* — intrarea în tablou; *5* — ieșiri din tablou; *6* — barele colectoare ale tabloului; *7* — suport metalic pentru susținerea tabloului

sau de explozie. Pot avea bare colectoare fixate pe izolatoare — suport. Protejează tabloul contra loviturilor mecanice.

— Tablouri capsulate, închise ermetic (tab. 5.3.2), folosite în condiții grele de exploatare (praf, umezeală, mediu dăunător, pericol de explozie, de incendiu, în aer liber). Tablourile se execută sub formă de cutii (cofrete), turnate din fontă, aluminiu sau sudate din tablă de oțel.

Barele colectoare și toate aparatele de protecție, comandă și control, se montează în cutii, care se asamblează pe un suport metalic, formînd un tablou capsulat. Se construiesc tablouri de tip mic, pînă la 200 A și de tip mare, pînă la 600 A, sau mai mult.

Tabloul cuprinde următoarele tipuri de cutii: cu bare, de siguranțe, intermediare (montate deasupra cutiilor cu bare servesc la trecerea cablurilor de intrare către cutiile de siguranțe), cutii terminale (cu 1—4 sau 6 ieșiri), cu aparate de măsură și control (după caz).

La tablourile capsulate se pot racorda tuburi IPE, țevi și cabluri armate, prin cutiile terminale.

Pentru instalațiile din mediu explosiv (gaz metan), se construiesc tablouri capsulate antideflagrante, etanșe, ale căror contacte sînt în ulei, pentru ca arcurile electrice care se formează să nu vină în contact cu mediul înconjurător.

Contorul de energie electrică se montează înaintea întrerupătorului tabloului general, fiind protejat cu siguranțe fuzibile (figura 5.3.15).

5.3.1.8. *Aparatajul electric folosit la instalații*, este constituit de ansamblul aparatelor de comandare și protecție a acestora.

a) Aparatele de înaltă tensiune sînt folosite în instalațiile electrice care funcționează cu tensiune mai mare de 1 kV.

— *Separatoarele* sînt aparate de conectare care, în poziția deschis, separă în mod vizibil anumite părți ale instalațiilor, asigurînd distanța de izolare în scopul separării unui circuit și protecția personalului de serviciu care lucrează în instalații.

Separatoarele nu sînt destinate să fie manevrate sub sarcină și nu se prevăd cu acționări automate, ci numai cu acționări comandate voit. Ca urmare, nu au putere de rupere (vezi formula 5.3.1), ne fiind prevăzute cu dispozitive de stingere a arcului electric ce se formează la deschiderea lor.

Din cauză că asigură legătura între rețele electrice, separatoarele au un curent nominal cel puțin egal cu curentul nominal al rețelei pe care o deservesc.

Intensitatea nominală a separatoarelor este de 200—400 A pentru tensiuni de 6 kV și 200—1000 A pentru tensiuni mai mari.

Separatoarele pot fi monopolare (fig. 5.3.3) bipolare și tripolare. La separatoarele multipolare, cuțitele au comandă comună, pentru ca toate contactele să fie întrerupte simultan. Separatoarele lucrînd întotdeauna sub tensiune, manevrarea manuală a cuțitelor (la puteri mici), se face cu o prăjină izolantă avînd un cîrlig la un capăt, cu care se apucă urechea 7 a cuțitului. În instalații cu puteri mari, se folosesc servomotoare de acționare.

Scanned with OKEN Scanner

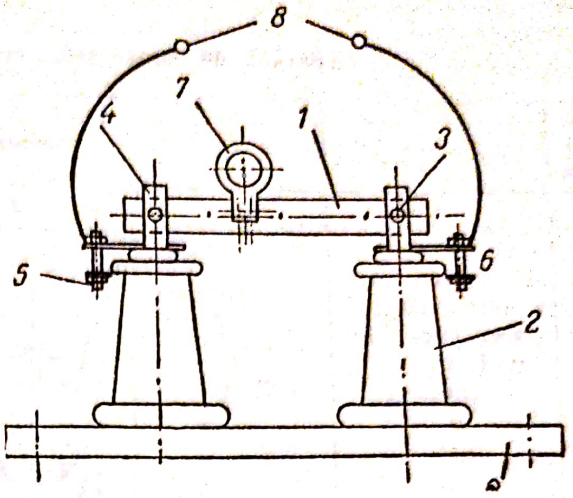


Fig. 5.3.3. Separator monopolar: *1* — cuțit metalic, prin a cărui rotire în jurul axei *3*, se separă sau se conectează circuitul comandat; *2* — izolator de susținere; *3* — axă de rotație; *4* — contact elastic în care pătrunde cuțitul; *5*, *6* — borne electrice; *7* — urechea cuțitului; *8* — eclator pentru protecția contra supratensiunilor atmosferice, atunci cînd separatorul este deschis (la separatoare de exterior; *9* — placă suport.

Separatoarele sînt de exterior sau de interior. Ele se montează pe toate plecările și sosirile de bare, pe plecările și sosirile în cabluri principale (feederi) și între secțiunile de bare.

Separatoarele de exterior montate pe stîlpi, au instalate în serie, înaintea separatorului, siguranțe fuzibile de înaltă tensiune, pentru protecția contra scurtcircuitelor.

Separatoarele se manevrează după ce circuitul a fost întrerupt prin întrerupător, pentru a se evita formarea unui arc stabil între contacte.

Întrerupătoarele în ulei, servesc la conectarea și deconectarea, sub sarcină, a diferitelor părți ale instalației electrice, în regim de exploatare normală. Cînd sînt prevăzute cu dispozitive automate de declanșare, servesc și pentru întreruperea, sub sarcină, a circuitelor funcționînd în regimuri anormale (suprasarcini, scurtcircuite, etc.).

La aceste întrerupătoare, întreruperea contactelor se face în interiorul unui rezervor (cuvă) cu ulei mineral. Straturile de ulei din jurul arcului format la întrerupere se descompun, formînd în jurul lui o bulă de gaze, cu circa 70% hidrogen, care avînd căldură specifică mare și rigiditate dielectrică superioară aerului, contribuie la stingerea rapidă a arcului (tab. 5.3.3).

Întrerupătoarele în ulei au următoarele forme constructive:

Întrerupătoare în cuvă cu volum mare de ulei. Prezintă pericol de explozie, în cazul cînd hidrogenul ajunge, în partea superioară a cuvei, cu temperatură destul de mare pentru a se aprinde în contact cu oxigenul din aer. Pentru securitate și pentru prevenirea incendiilor se așază în celule separate din beton sau cărămidă.

Întrerupătoare cu cameră de explozie, cu volum redus de ulei, care sînt mai sigure în funcționare, deoarece camera în care ar putea avea loc explozia are rezistență mecanică mare.

Se mai construiesc întrerupătoare cu expansină, amestec de apă cu glicol sau glicerină, care produce vapori în prezența arcului electric care, prin destindere în camere speciale, realizează stingerea lui.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 5.3.3

Aparate de conectare, comutare şi protecţie

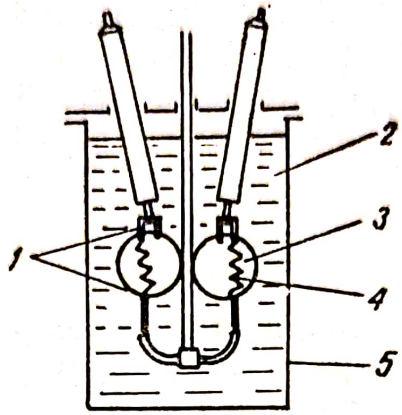
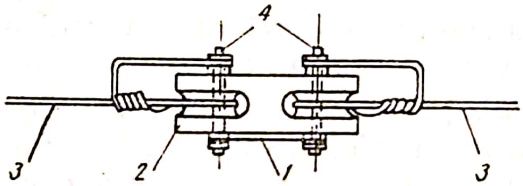
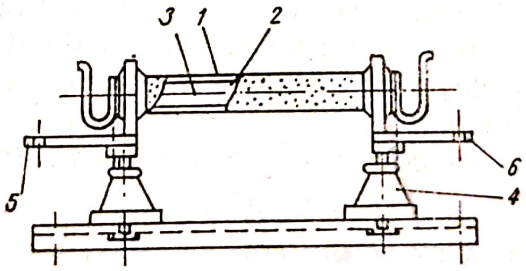
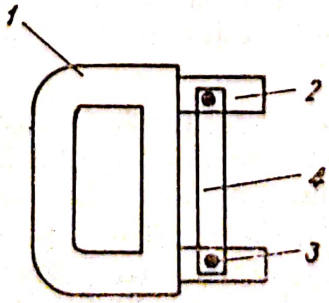
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observaţii
0	1	2	3
1	Formarea arcului de întrerupere în ulei		*1* — Contacte electrice; *2* — ulei; *3* — bulă; *4* — arc electric; *5* — cuvă
2	Siguranţă aeriană (de exterior)		*1* — fir fuzibil; *2* — izolator; *3* — conducte electrice; *4* — şuruburi de fixare
3	Siguranţă tubulară, fuzibilă de înaltă tensiune		*1* — tub de porţelan; *2* — nisip de cuarţ; *3* — fuzibil; *4* — izolator suport; *5, 6* — borne
4	Siguranţă lamelară cu mîner		*1* — mîner suport izolant; *2* — cutie de contact; *3* — şuruburi de fixare a fuzibilului; *4* — fuzibil lamelar

Tabela 5.3.3 (continuare)

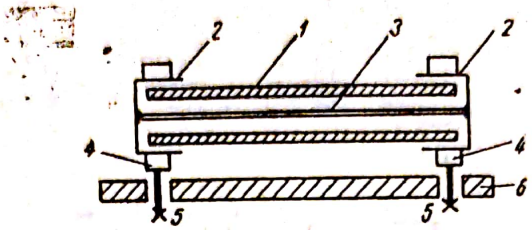
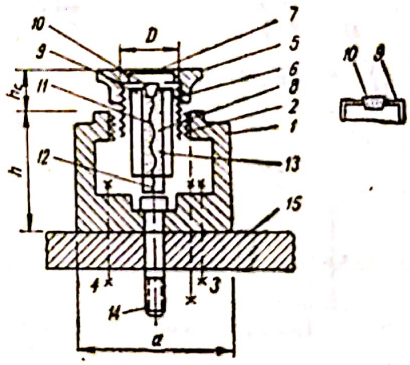
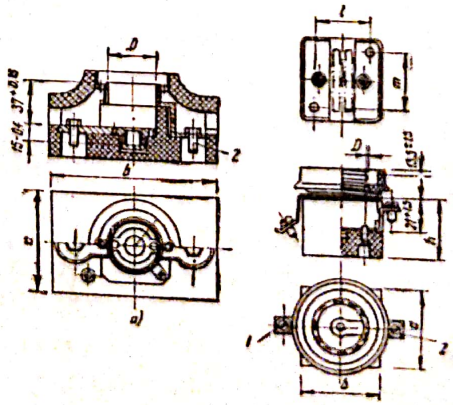
0	1	2	3
5	Siguranță tubulară de joasă tensiune		*1* — tub izolant; *2* — capace metalice de contact; *3* — fuzibilul; *4* — contact furcă; *5* — bornele contactelor furcă; *6* — placă izolantă de fixare.
6	Siguranță fuzibilă cu patron cu legătură în spate		*1* — soclu; *2* — filetul metalic al soclului; *3* — șurub bornă; șuruburi de fixare a soclului; *5* — capacul soclului; filetul metalic al capacului; *7* — deschidere de control; *8* — patron; *11* — fuzibil; *13* — nisip de cuarț; *14* — șurub de contact; *a*, *h*, h_c, *D* — dimensiuni; *15* — placă de marmoră; *9*, *10*, *12* — accesorii.
7	Soclu pentru siguranțe cu legături în față		*a)* — construcție închisă; *b)* construcție deschisă; *1*; *2* — bornele siguranței.

Tabela 5.3.3. (continuare)

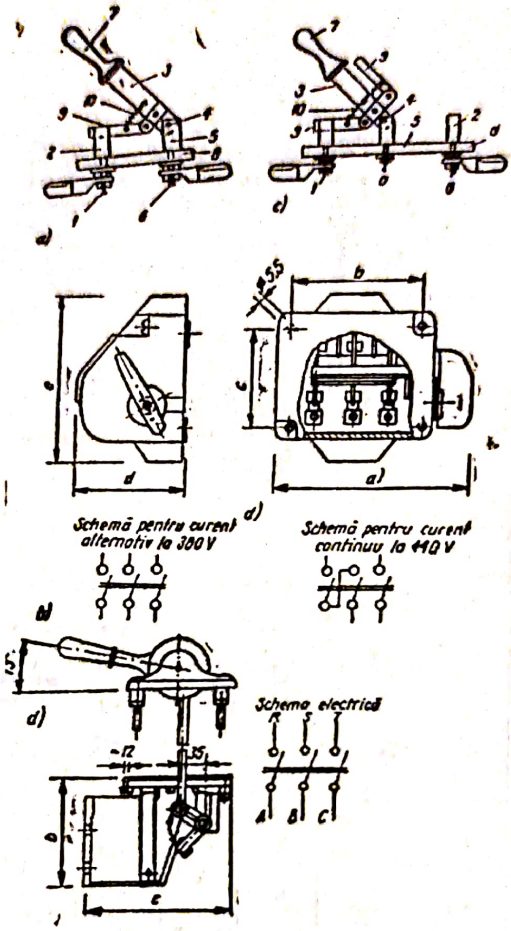
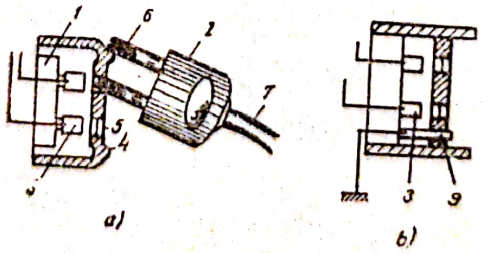
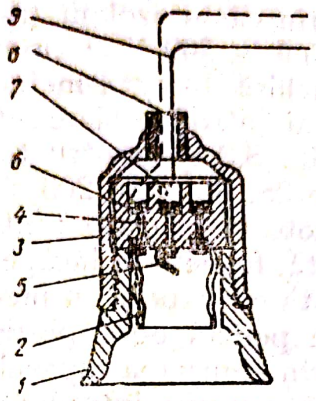
0	1	2	3
8	Întrerupător monopolar cu pîrghie, comutator cu pîrghie		*a)* — întrerupător monopolar; *b)* — întrerupător tripolar 25—100 A; *c)* — întrerupător cu pîrghie tripolar de 200—1000 A; *d)* — comutator monopolar; *1*; *6* — borne; *2*; *5* — contact furcă; *3* — cuţit; *4* — axă; *7* — mîner izolant; *8* — placă suport izolantă; 9 — cuţit auxiliar; *10* — resort
9	Priză de curent monofazată şi fişă		*a* — fără bornă de legare la pămînt; *1* — priza propriuzisă; *2* — fişe; *3* — tecile prizei; *5* — găurile din dreptul tecilor; *6* — cuiele despicate ale fiselor; *7* — cordon flexibil; *8* — conductoarele reţelei interioare; *b* — priză cu bornă de legare la pămînt; *9* — borna de legare la pămînt

Tabela 5.3.3. (continuare)

0	1	2	3
10	Secțiune printr-o dulie normală		*1* — tronsonul izolant mobil; *2* — tub metalic filetat; *3* — corpul duliei; *4* — piesă izolantă pentru fixarea bornelor duliei; *5* — lamelă de contact; *6*; *7* — bornele duliei; *8* — inel de fixare a duliei; *9* — conductoare de legare la rețea.

Întrerupătoarele se comandă manual sau prin dispozitive cu relee electromagnetice de maxim și minim. Puterea de rupere este dată de produsul dintre valoarea maximă a curentului ce poate fi întrerupt, tensiunea nominală și factorul de fază m (1,73 la sistemul trifazic):

$$P_r = mIU \text{ [kVA] sau [MVA]} \qquad (5.3.1.)$$

Siguranțele de înaltă tensiune, au rolul de a proteja instalațiile de înaltă tensiune, de puteri mici. Ele se montează în locul întrerupătoarelor automate, în special în circuitele transformatoarelor cu puteri pînă la 560 kVA.

Aceste siguranțe au elemente fuzibile și sînt prevăzute cu indicatoare care arată topirea fuzibilului (tab. 5.3.3).

b) Aparataj electric de joasă tensiune (pînă la 500 V). Aparatele de întrerupere, servesc la conectarea sau deconectarea receptoarelor (închiderea și deschiderea circuitelor).

— *Întrerupătorul cu pîrghie*, este un tip de întrerupător în aer, folosit la deschiderea și închiderea circuitelor de curent continuu și alternativ, pentru curenți nominali de 25, 40, 60, 100, 200, 350, 600, 1000 și 2000 A.

După numărul de conductoare întrerupte simultan, ele sînt monopolare (fig. 5.3.14. *a*) bipolare și tripolare.

Acționarea întrerupătoarelor se face manual, putînd fi directă, cînd întrerupătorul este așezat în fața tabloului sau indirectă, cînd întrerupătorul este așezat în spatele tabloului (tab. 5.3.3).

Scanned with OKEN Scanner

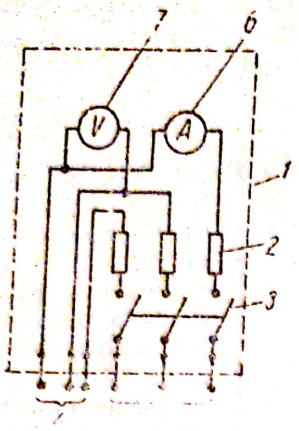


Fig. 5.3.4. Cutie de distribuţie:

1 – cutie metalică; *2* – siguranţe (aparate de protecţie; *3* – întrerupător; *4* – intrare de la reţeaua de distribuţie; *5* – ieşire la receptor; *6* – ampermetru; *7* – voltmetru.

Întrerupătoarele se fixează pe tablou astfel ca deschiderea circuitului să se facă prin acţionarea în jos a mînerului. Reţeaua de alimentare se leagă la bornele de sus, iar receptorul la cele de jos.

După modul de protejare, întrerupătoarele sînt: în execuţie neprotejată sau deschisă (pînă la 220 V); în execuţie protejată contra atingerilor accidentale, prin capac izolant (fig. 5.3.14. b), pentru tensiuni pînă la 500 V şi curenţi peste 400 A; în execuţie închisă, în cutii metalice (de distribuţie), în care se mai introduc siguranţe, aparate de măsură şi relee (fig. 5.3.4), pentru tensiuni pînă la 500 V şi curenţi de 25, 60, 100, 200 şi 400 A, folosite mai ales la motoare electrice; întrerupătoare în execuţie capsulată, folosite în încăperi umede, în atmosferă încărcată cu vapori, în încăperi cu praf, murdărie, gaze, cu pericol de explozie şi în aer liber. Se realizează prin etanşarea capacelor şi a intrărilor conductoarelor, sau prin introducerea într-o cuvă cu ulei.

— *Comutatorul cu pîrghie* este un aparat electric prin a cărui acţionare se schimbă succesiv, un sistem de conexiuni prin altul (tab 5.3.3). Poate fi monopolar, bipolar, tripolar, în execuţie deschisă, protejată, închisă şi capsulată.

Întrerupătoarele şi comutatoarele folosite la comandarea motoarelor electrice, se completează întotdeauna cu aparate de protecţie, şi, după caz, cu aparate de măsură, control, semnalizare.

— *Aparatele de întrerupere folosite la iluminatul electric*, sînt întrerupătoarele şi comutatoarele rotative, basculante şi prin tracţiune, care se pot instala aparent pe perete, îngropat, se pot monta pe conductoare mobile sau pe aparate mobile.

Aceste aparate servesc la deschiderea, închiderea şi comutarea circuitelor în care sînt conectate receptoarele. Se montează în linie, cînd reţeaua se prelungeşte mai departe la alţi consumatori, sau sînt terminale, conectate la sfîrşitul reţelei. Între aceste două variante există diferenţă din punctul de vedere al numărului de conductoare introduse în tuburi. Se construiesc pentru tensiuni nominale pînă la 500 V.

În tabela 5.3.4 sînt date schemele de montaj, multifilare şi monofilare, şi simbolul pentru întrerupătoarele rotative monopolare, bipolare şi tripolare, folosite pentru a întrerupe una, două sau trei faze.

Întrerupătoarele au două poziţii: închis şi deschis; ele se leagă în serie cu receptorul şi ambele se leagă în paralel în circuit.

Comutatorul de grup (tab. 5.3.4.) serveşte pentru conectarea succesivă a două receptoare, astfel ca numai unul din ele să fie în funcţie la moment dat.

Comutatorul cu întrerupere în serie (tab. 5.3.4) introduce şi scoate din circuit, rînd pe rînd, ambele receptoare.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 5.3.4

Aparate de întrerupere pentru instalații interioare de joasă tensiune

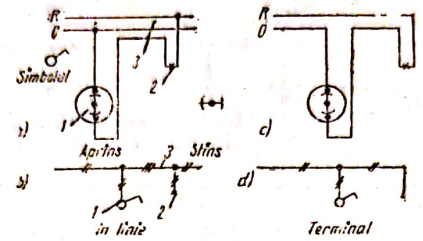
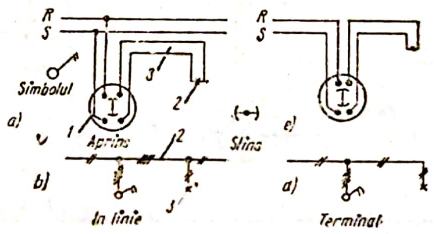
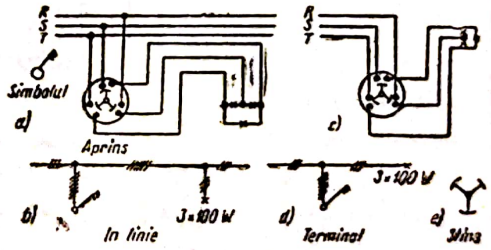
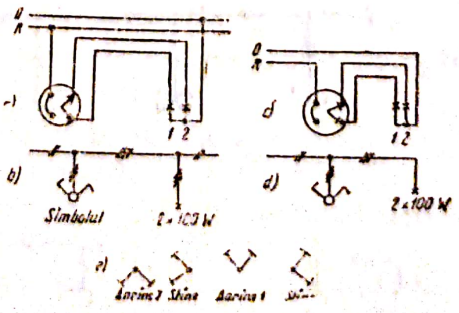
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
0	1	2	3
1	Întrerupător monopolar rotativ		*a)* — în linie schemă multifilară; *b)* — în linie schemă monofilară; *c, d)* — terminal; *1* — întrerupător; *2* — receptor; *e)* — poziția de stingere
2	Întrerupător tripolar rotativ		
3	Întrerupător tripolar rotativ		
4	Comutator cu întrerupere în grup rotativ		*e)* — poziția părții mobile a comutatorului, pentru a obține două regimuri de funcționare a receptoarelor

Tabela 5.3.4 (continuare)

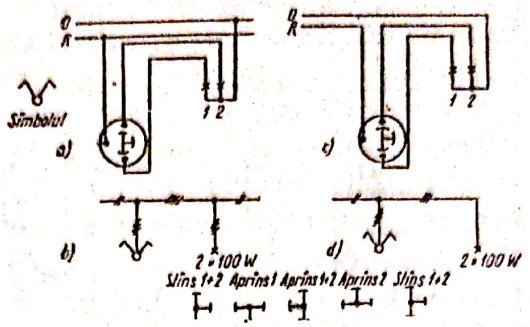
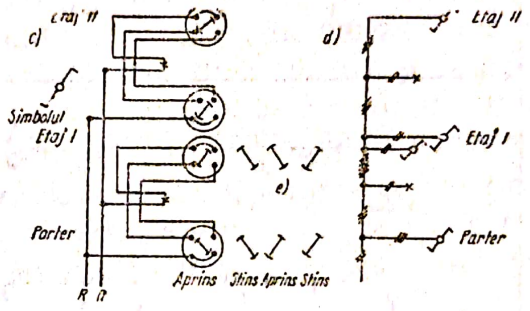
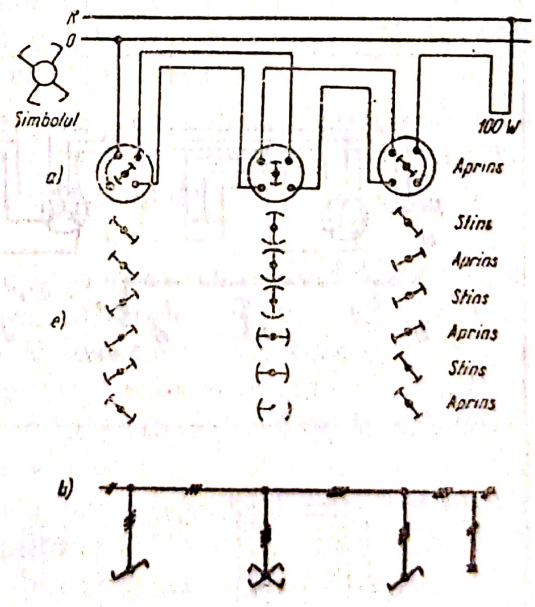
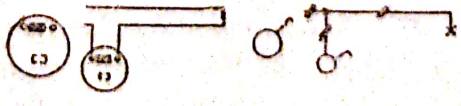
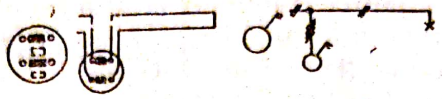
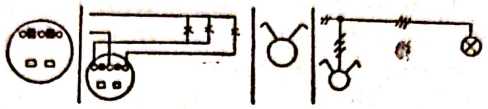
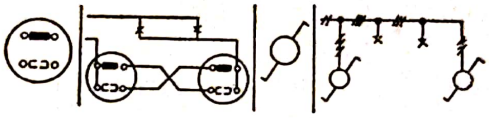
0	1	2	3
5	Comutator cu întrerupere în serie rotativ		
6	Întrerupător în scară, rotativ		
7	Comutator cruce, rotativ		
8	Întrerupător monopolar basculant		

Tabela 5.3.4. (continuare)

0	1	2	3
9	Întrerupător bipolar basculant		
10	Comutator serie basculant		
11	Întrerupător de scară basculant		

Întrerupătorul de scară (tab. 5.3.4) permite conectarea și deconectarea unui circuit în două locuri.

Comutatorul cruce (tab. 5.3.4) servește pentru conectarea și deconectarea unui circuit din mai multe locuri.

Tot în tabela 5.3.4 sînt date și schemele unor întrerupătoare și comutatoare basculante.

Întrerupătorul automat de scară servește pentru închiderea circuitului de lumină al scărilor, în blocurile cu mai multe etaje. Mecanismul de comandă cuprinde de obicei un releu cu un mecanism de ceasornic sau o pompă cu care se stabilește durata de funcționare a lămpii, cuprinsă între 1—5 minute, după timpul necesar urcării scărilor.

Intrerupătorul permite să se obțină trei poziții de funcționare : *a* — pentru zi (circuitul electromagnetului este întrerupt, iar automatul nu funcționează) ; *b* — pentru seară (automatul este scos din circuit și lămpile ard continuu) ; *c* — automatul funcționează normal, prin apăsarea pe buton.

a) Aparatele de conectare servesc la conectarea aparatelor electrice portative. Uneori, între aparatul de conectare și receptor, se prevăd aparate de întrerupere și de protecție.

b) Prizele de curent și fișele, servesc la conectarea aparatelor de uz casnic, semiindustrial sau industrial, din instalațiile fixe care funcționează cu tensiuni pînă la 750 V. Legarea se face cu ajutorul fișelor, prin conductoare flexibile numite cordoane (tab. 5.3.3).

Construcția prizei și a fișei nu permite să se introducă decît un cui al fișei în teaca prizei, astfel ca prin atingerea cu celălalt cui, să nu se poată produce accidente prin electrocutare.

Scanned with OKEN Scanner

Prizele pot fi clasificate după cum urmează. După felul montajului: aparente, îngropate, portative. După felul protecţiei: normale, impermeabile sub tencuială (în băi, bucătării, spălătorii), capsulate în carcasă de metal (în instalaţii exterioare, gospodării agricole, porturi, ateliere deschise) sau în carcasă de bachelită (în încăperi industriale cu atmosferă umedă, acizi sau depuneri mari de praf. După numărul contactelor: bipolare (cu două contacte) şi tripolare (cu trei contacte). După intensitatea nominală: 10, 25, 60 A. După tensiunea nominală: 250, 500, 750 V.

În locuinţe, prizele se montează la înălţimea medie de 0,8 m de la pardoseală.

În instalaţiile de lumină se folosesc aparate de conectare combinate: priza asigurată, prevăzute cu lamele sau dop fuzibil; dulia priză, ansamblu format dintr-o dulie şi două prize, care se poate înşuruba în dulia lămpilor, permiţînd să se racordeze încă două receptoare la locul de lampă; cupla dublă bipolară, care serveşte pentru legături mobile şi prelungitoare; fişa triplă, care face serviciul a trei prize.

În prezent, prizele sînt prevăzute cu o bornă de legare la pămînt, în vederea protecţiei contra atingerilor carcaselor aparatelor care ar putea ajunge, accidental, sub tensiune.

c) Duliile servesc la montarea lămpilor (becurilor) în circuit, fie prin înşurubare (dulie Edison), fie prin fixarea lămpii într-un locaş cu două şanţuri, în care se fixează prin răsucire (dulie baionetă), folosite la lămpi pînă la 100 W, din motive de încălzire.

Clasificarea duliilor normale cu filet (tab. 5.3.3) se face după mărimea filetului: dulie mică (mignon, folosită la lămpi pînă la 40 W), medie (normală, folosită pentru lămpi între 15 şi 200 W) şi mare (Goliat, pentru lămpi peste 300 W).

Duliile speciale sînt următoarele: dulie cu întrerupător, folosită la lămpi reglabile în înălţime, în ateliere, birouri, noptiere; dulie de perete, dreaptă sau oblică; dulie de pivniţă, din porţelan, cu două pipe prin care se introduc conductoarele; dulie de iluminat, folosită la iluminatul rampelor de teatru şi scafele locuinţelor; dulii pentru lămpi tubulare, în care capetele lămpilor tubulare sau ale tuburilor luminiscente se fixează prin rotire.

Din motive de securitate, duliile cu întrerupător nu se montează în încăperi unede şi la lămpi portative. Duliile se montează în corpurile (aparatele) de iluminat.

În instalaţiile cu tensiuni de serviciu peste 250 V faţă de pămînt, se prevede legarea la pămînt a duliilor şi a prizelor.

d) Aparatele de protecţie, protejează instalaţiile electrice în cazul abaterii de la regimul normal de funcţionare sau al defectării reţelelor şi aparatelor de utilizare a energiei electrice.

1) Siguranţele fuzibile, constituie cel mai simplu aparat de protecţie contra curenţilor de scurtcircuit şi uneori contra supracurenţilor (curenţi mai mari decît curenţii nominali ai aparatelor).

Siguranţa fuzibilă se compune din corpul siguranţei şi elementul fuzibil. Ea se montează în serie cu circuitul pe care îl protejează. Cînd curentul din

Scanned with OKEN Scanner

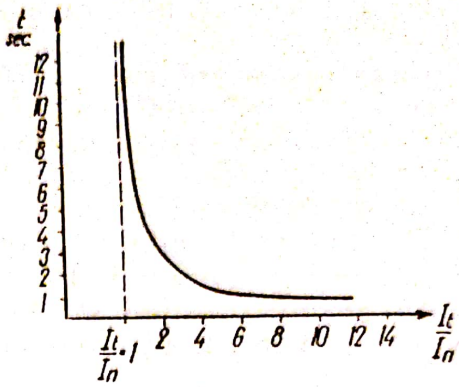


Fig. 5.3.5. Caracteristica fuzibilului unei siguranțe:
t — timpul de topire (secunde); I — curentul de topire; I — intensitatea nominală a circuitului.

circuit depășește curentul nominal pentru care este calibrat fuzibilul (a cărui secțiune este mai mică decît a conductorului protejat), acesta se încălzește mai repede decît conductorul, se topește și întrerupe circuitul, pe care, astfel, îl protejează. Curba care reprezintă timpul de topire al fuzibilului în funcție de curentul ce trece prin el, se numește caracteristica fuzibilului (fig. 5.3.5). În funcție de materialul din care este confecționat fuzibilul, siguranțele sînt cu acționare instantanee sau cu acționare întîrziată (cu inerție). Ultimele, suportă supracurenți de scurtă durată, astfel că se pot folosi la pornirea motoarelor electrice, oferind totodată o protecție bună în condiții de funcționare normale.

Siguranțele instantanee trebuie dimensionate pentru curentul de pornire, de aceea nu mai oferă suficientă protecție la curenți mici de durată. Dacă se dimensionează pentru curentul nominal, la pornirea motorului se scurtcircuitează, sau se scot din circuit, pe durata pornirii folosindu-se un circuit auxiliar, cu siguranțe dimensionate la curentul de pornire.

Siguranțele sînt unipolare, bipolare și tripolare.

După modul de construcție, siguranțele fuzibile sînt cu patron, lamelare și tubulare.

— *Siguranța cu patron* (tab. 5.3.3) se compune dintr-un soclu de porțelan a cărui armătură metalică este legată la un șurub care formează una din bornele siguranței. În armătură se înșurubează bucșa metalică a capacului de porțelan al siguranței. În interior se află patronul cu fuzibil care, prin cele două capace metalice de la extremitățile lui, face contact cu borna soclului și cu șurubul de contact care formează a doua bornă a siguranței.

Soclurile și capacele se confecționează pentru intensități nominale de 25, 60, 100 și 200 A, iar patroanele pentru 6, 10 15, 20, 25, 35, 60, 80, 100, 160 și 200 A.

În instalațiile de iluminat electric și în cele de forță de puteri mai mici, se folosesc siguranțe fuzibile cu soclu, cu legături în spate (LS) (fig. 5.3.30) sau cu legături în față (L.F.) (tab. 5.3.3).

În tabelele 5.3.2, 5.3.3 și 5.3.4 se dau dimensiunile de gabarit ale soclurilor, necesare la calculul tabloului de distribuție.

În iluminatul electric, siguranțele fuzibile cu întîrziere se folosesc pentru protecția rețelelor cu lămpi de mare putere, care la aprindere absorb un

Scanned with OKEN Scanner

curent de circa 10 ori curentul nominal, rezistenţa filamentului la rece fiind mică.

— *Siguranţa lamelară* (tab. 5.3.3.) se compune dintr-un mîner suport izolant, pe care se află două cuţite de cupru (care se introduc în contactele furcă ale reţelei) pe care se fixează cu şuruburi, fuzibilul lamelar (domeniu de utilizare pînă la 600 A şi 500 V; v. tab. 5.3.5).

— *Siguranţa tubulară* (tab. 5.3.3) se compune dintr-un tub etanş de material izolant în care se află un fuzibil (pentru intensităţi mari, lamelar). La topirea fuzibilului, în interiorul tubului se dezvoltă o presiune mare, care deionizează mediul, uşurînd stingerea arcului.

Se folosesc pentru curenţi nominali de la 6 la 1000 A şi tensiuni pînă la 600 V (v. tab. 5.3.6).

Pentru a evita incendiile şi accidentele care pot surveni la topirea fuzibilelor, siguranţele se protejează. În medii umede, cu praf, cu vapori, gaze, pericol de explozie şi incendii, se folosesc siguranţe capsulate. Ţinînd seama şi de neajunsul prezentat de necesitatea schimbării fuzibilelor topite, legată de pericolele care decurg din înlocuirea lor cu fuzibile necalibrate, în multe cazuri se folosesc siguranţe automate, care elimină inconvenientele amintite.

Menţionăm că există siguranţe cu mare putere de rupere (tip MRP), pînă la 100 kA, la care fuzibilul este realizat dintr-o lemelă profilată, avînd îngustări de secţiune, ceea ce permite o stingere uşoară a arcului electric care apare la topirea lui.

2) Siguranţele automate sînt de fapt întrerupătoare de formă specială, prevăzute cu releu electromagnetic şi releu termic. Declanşarea (deschiderea) lor este liberă, dar anclanşarea (închiderea) nu este liberă şi durează pînă la înlăturarea defectului.

Tipurile constructive sînt următoarele: Buşon (dop) automat, cu filet de înşurubare în soclul siguranţei, în locul patronului şi al capacului, pentru intensităţi pînă la 25 A. Sub formă de element de siguranţă: are soclul cu dimensiunile egale cu ale soclurilor de siguranţă tip LS şi se montează pe tablou. Siguranţă automată tip întrerupător cu pîrghie, care se montează pe tablou. Pentru circuitul închis, pîrghia este în poziţia de sus. Siguranţele automate se folosesc la instalaţii care cer siguranţă mare în exploatare: teatre, cinematografe, săli de operaţii, muzee, etc.

3) Prescripţii. Montarea siguranţelor pentru protecţia conductoarelor este obligatorie în următoarele cazuri: în punctele unde secţiunea descreşte, afară de cazul că există o siguranţă precedentă care asigură şi secţiunea mai slabă, înaintea circuitelor care pornesc de la tablou; la ieşirea din contorul electric, dacă lungimea coloanei pînă la tablou este mai mare de 5 m.

Pe conductorul neutru nu se montează siguranţe, în afară de circuitele monofazice, unde se montează şi pe neutru, dacă nu este folosit pentru protecţie.

În scheme, la siguranţe se notează valorile nominale ale curenţilor pentru fuzibil şi soclu (fig. 5.3.15).

5.3.1.9. *Posturile de transformare* sau *staţiile de transformare* de pe şantierele de construcţii, servesc la coborîrea tensiunii înalte a reţelei de alimentare, la tensiunea joasă a reţelei de distribuţie.

Scanned with OKEN Scanner

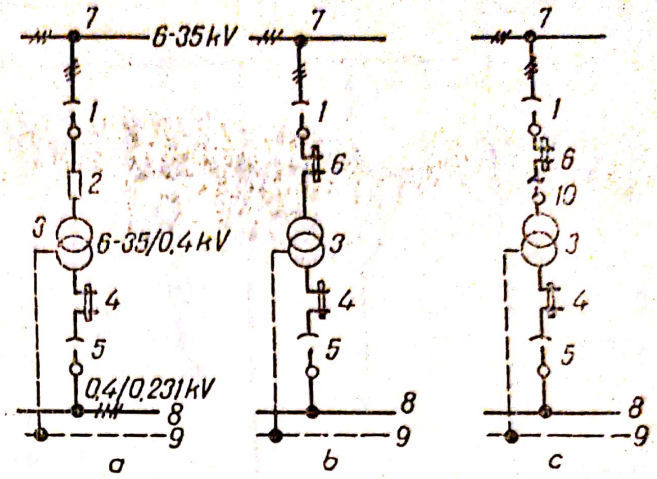


Fig. 5.3.6. Posturi de transformare de șantier, cu un transformator:
1 — separator; *2* — întrerupător de înaltă tensiune; *3* — transformator trifazat; *4* — siguranță de joasă tensiune; *5* — separator de joasă tensiune; *6* — siguranță de înaltă tensiune; *7* — linie de înaltă tensiune; *8* — linie de joasă tensiune; *9* — legare la pămînt; *10* — separator de sarcină; *a* — schemă folosită pentru transformatoare la 1000 kVA, în exterior, pe sol sau în interior; *b*, *c* — scheme folosite la montarea unui transformator mai mic, pe stîlp.

În afară de transformatoare, un post de transformare cuprinde aparatele de manevră, control, măsură, semnalizare și protecție (eventual aparate de telemăsură, telecomandă, telesemnalizare), necesare funcționării sale. Acestea formează echipamentul electric, care diferă în funcție de puterea și tensiunile postului.

Posturile de transformare ale șantierelor de construcții sînt alimentate de obicei cu energie electrică de 3, 6, 10, și 15(20) kV, tensiuni mai mari fiind folosite în cazul șantierelor foarte mari.

Posturile și stațiile de transformare se echipează cu unul sau mai multe transformatoare, așa după cum se arată în schemele electrice de principiu din figurile 5.3.6, și 5.3.7.

Pe partea de înaltă tensiune se folosesc scheme de conectare cît mai simple, fără bare, în cazul unui transformator, sau cu bare, în cazul a două transformatoare.

Pe partea de joasă tensiune, se prevăd bare de joasă tensiune, de la care pleacă circuitele de distribuție de joasă tensiune.

Din punct de vedere constructiv, posturile de transformare pot fi de exterior și de interior, alegerea tipului de post și așezarea lui, fiind determinate de puterea și destinația postului.

a) Posturile de transformare de exterior au caracter provizoriu. Ele sînt de următoarele tipuri:

— *Post de transformare monofazat*, montat pe un stîlp de întindere (tab. 5.3.5). Este postul cel mai simplu, folosit pe șantiere foarte mici. Este echipat cu un transformator monofazat, legat în paralel pe două faze ale liniei, prin siguranțe fuzibile tubulare.

— *Post de transformare montat pe stîlpi tip A* (tab. 5.3.5). Este echipat cu un transformator trifazic cu puterea pînă la 25 kVA. Se conectează la linia de înaltă tensiune prin siguranțe fuzibile tubulare, fiind așezat pe o platformă accesibilă numai pentru personalul de specialitate.

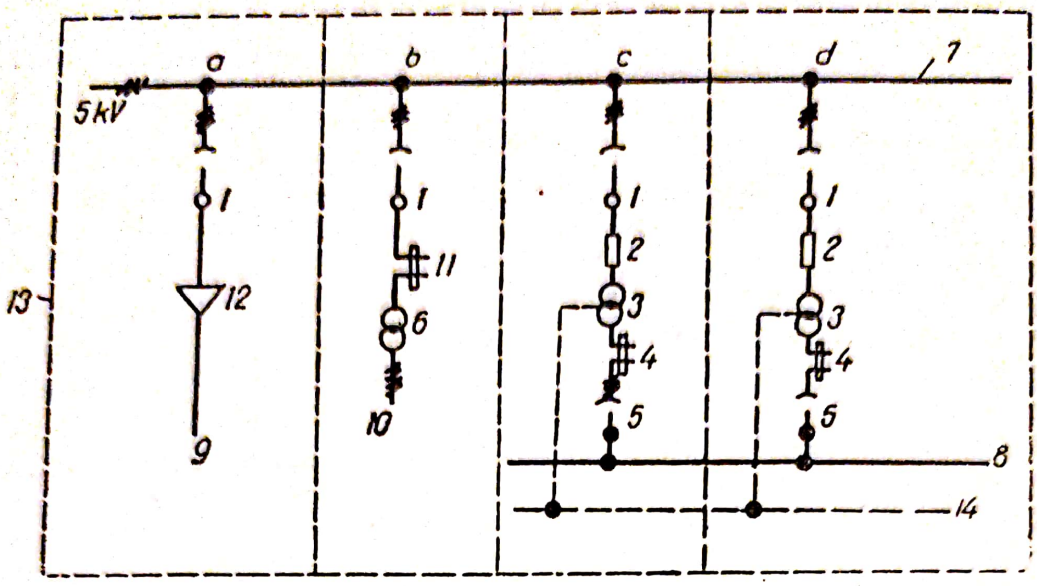


Fig. 5.3.7. Post de transformare de tip interior cu bare colectoare de înaltă tensiune (6 kV);

1 — separator; *2* — întrerupător de putere; *3* — transformator trifazat; *4* — siguranţă de joasă tensiune; *5* — separator de joasă tensiune; *6* — transformator de măsură (TI, TU); *7* — bare de înaltă tensiune; *8* — bare de joasă tensiune; *9* — reţea de alimentare (sosire); *10* — circuit de măsură; *11* — siguranţă de înaltă tensiune; *12* — cutie terminală; *a* — celula de intrare; *b, c, d* — celule de ieşire; *13* — clădirea postului; *14* — legare la pămînt.

— *Post de transformare montat pe stîlp portal* (tab. 5.3.5). Este echipat cu un transformator trifazat cu putere pînă la 100 kVA. Pe partea de înaltă tensiune se află siguranţele fuzibile tubulare şi separatoarele tripolare de exterior, cu dispozitivele de acţionare şi descărcătoarele contra supratensiunilor atmosferice.

— *Post de transformare montat pe stîlp tip portal dublu A*. Este echipat cu un transformator cu putere pînă la 240 kVA, prevăzut cu echipamentul electric necesar. Aceste posturi sînt terminale sau de trecere.

— Post de transformare montat pe stîlp cu transformatorul montat pe sol (tab. 5.3.5). Are echipamentul electric de înaltă tensiune montat pe stîlp, iar transformatorul, cu aparatajul de joasă tensiune, se montează pe sol, pe o fundaţie de beton. Separatorul se manevrează de pe sol, iar dispozitivul de acţionare trebuie să fie blocat prin zăvorîre sau să se poată demonta, spre a nu putea fi acţionat decît de personalul de deservire. Aceste posturi se folosesc în cazul transformatoarelor mai mari de 240 kVA.

b) Posturile de transformare de interior, au încăperi zidite conform prevederilor standardelor în vigoare. Se folosesc pe şantiere mari şi foarte mari, cînd, de obicei, rămîn pentru a deservi pe beneficiarul lucrării de construcţi executate de şantier.

5.3.1.10. *Scheme electrice.* Schemele electrice constituie o reprezentare convenţională simplificată a elementelor circuitelor electrice şi a conexiunilor lor. După metoda de reprezentare, schemele se împart în două categorii:

— Scheme complexe, la care dispozitivele şi aparatele se reprezintă printr-un singur simbol (fig. 5.3.8).

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 5.3.5

Posturi de transformare de tip exterior

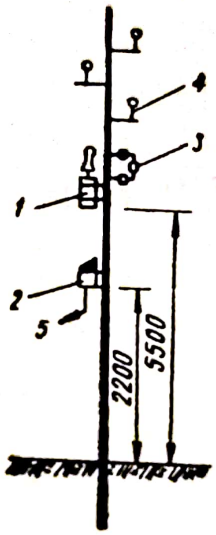
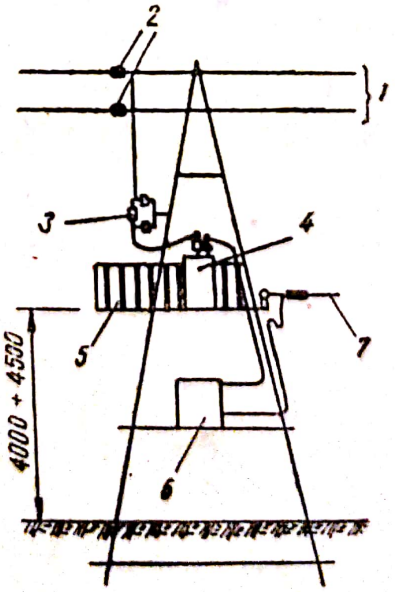
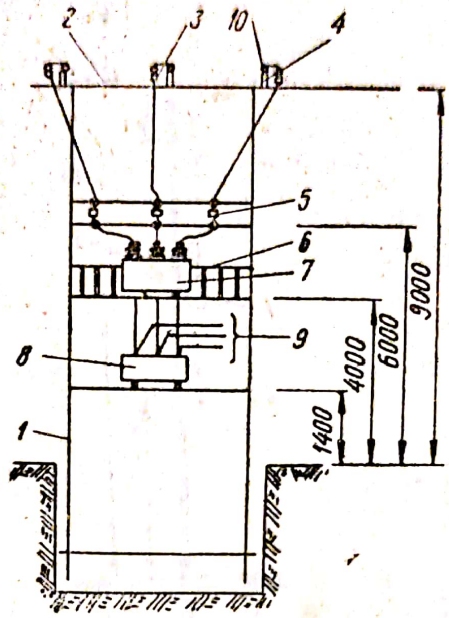
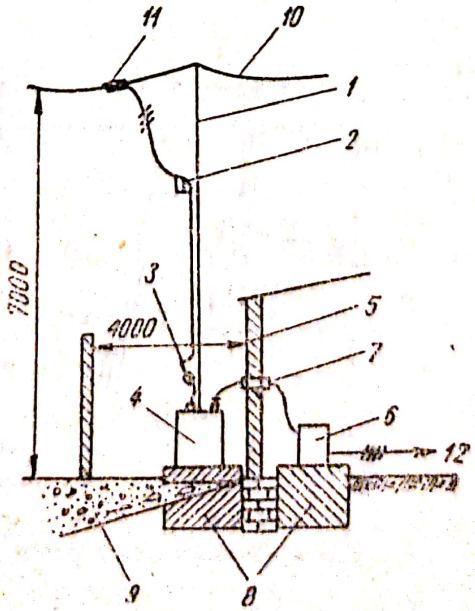
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
0	1	2	3
1	Post de transformare monofazat, montat pe un stîlp de întindere (6/3/0,4 kV)		*1* — transformator monofazat; *2* — cutie de distribuție de joasă tensiune; *3* — siguranță; *4* — linia de înaltă tensiune; racordul rețelei de joasă tensiune
2	Post de transformare trifazat montat pe stîlp A (6/0,4 kV) fără separator		*1* — Rețea de înaltă tensiune; *2* — cleme de derivație; *3* — siguranțe fuzibile de înaltă tensiune; *4* — transformator trifazat; *5* — platformă; *6* — cutie de distribuție de joasă tensiune; 7 — racord spre rețeaua de joasă tensiune

Tabela 5.3.5 (continuare)

0	1	2	4
3	Post de transformare pe stîlp de lemn portal		*1* — ansamblul stîlpului; *2* — traversă de susţinere a liniei de înaltă tensiune; *3* — descărcător tubular; *4* — izolator de înaltă tensiune; *5* — cadru cu siguranţe de IT; *6* — platformă; *7* — transformator trifazat; *8* — cutie de distribuţie de joasă tensiune; *10* — conductor de I.T.
4	Post de transformare montat — pe stîlp de lemn, cu transformatorul la sol		*1* — stîlp portal *2* — separator *3* — siguranţă de I.T. *4* — transformator trifazat; *5* — parapet contra incendiului *6* — cutie de distribuţie de joasă tensiune; *7* — izolator de trecere; *8* — fundaţie de beton; *9* — drenaj; *10* — linie de I.T. *11* — clemă de derivaţie; *12* — ieşire spre reţeaua de joasă tensiune

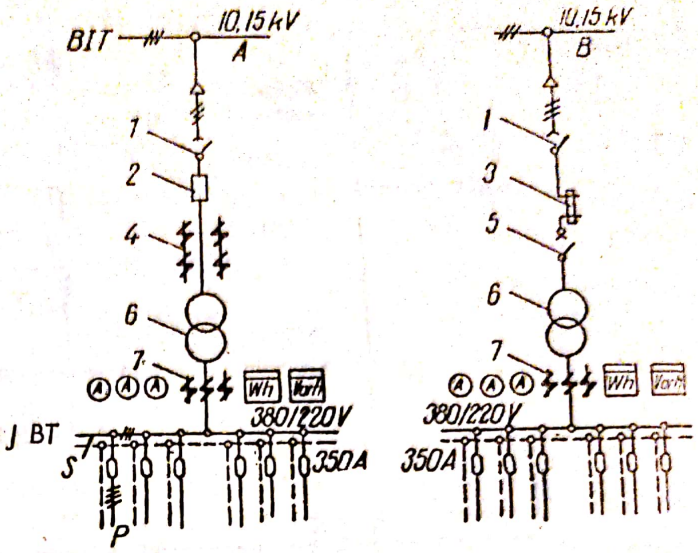


Fig. 5.3.8. Schema monofilară (complexă) a unui post de transformare în cabină metalică *PTM* — 5 10(6), 15/0,4 kV 400—1000 kVA;

a — varianta *A*, cu întrerupător, cu ulei puțin (*IUP*) acționat cu dispozitiv manual (*DMI*) *b* — varianta *B*, cu siguranțe fuzibile *FI*; *1* — separator tripolar (*STIN* 10, 15 kV 200 A); *2* — întrerupător cu ulei puțin (*IUP* 10, 15 kV); *3* — suport trifazat de interior (*SFI*) cu fuzibile (*FI* 10, 15 kV); *4* — transformator de curent de interior cu izolație de porțelan tip trecere (*CIPT* 10, 15 kV); *5* — separator de putere tripolar de interior, cu autosuflaj (*SPTIn* 400 A); *6* — transformator de putere de 400 — 1000 kVA 6,15/0,4 kV; *7* — transformator de curent de interior, tip trecere, cu izolație de bachelită (*CIT* —0,5); BIT — bare de înaltă tensiune; BJT — bare de joasă tensiune; S — siguranțe de joasă tensiune; P — linii de plecare cu patru conductoare.

— Scheme desfășurate, la care elementele fiecărui dispozitiv sau aparat sînt reprezentate separat, ceea ce permite să se vadă mai bine principiul de funcționare ale schemelor (fig. 5.3.9)

După scopul lor, schemele sînt de următoarele categorii:

— Scheme de principiu (scheme bloc), care arată, în formă simplificată, legătura dintre elementele schemei și ajută la înțelegerea principiului ei de funcționare (sînt scheme complexe).

— Scheme de montaj, care dau reprezentarea tuturor aparatelor, dispozitivelor și a legăturilor electrice între ele, necesare pentru lucrările de execuție (sînt scheme desfășurate).

1) Schemele de acționări electrice, se referă la acționări neautomatizate și automatizate. Schema unei acționări electrice automatizate se împarte în patru circuite electrice:

— circuitul curentului principal, de forță; se trasează cu linii groase;

— circuitul curentului auxiliar, de comandă (de control); se trasează cu linii subțiri;

— circuitul legăturilor de blocare, care face parte din circuitul de blocare; el apare în cazul cînd este necesară o blocare între diferite mecanisme legate între ele sau între subansamblurile unei mașini de lucru;

— circuitul de semnalizare, care arată starea de funcționare a sistemului, de cele mai multe ori optic; la schemele de blocare simple, semnalizarea poate lipsi.

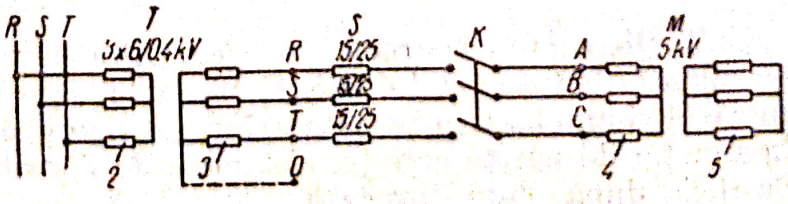


Fig. 5.3.9. Schemă desfășurată:

1 — rețea de medie tensiune; *T* — transformator trifazat, cu înfășurarea primară *2* și cea secundară *3*; *S* — siguranțe fuzibile cu patron de 15 A introduse în soclu de 25 A; *K* — întrerupător tripolar; *M* — motor asincron cu rotorul în scurtcircuit, cu statorul *4* și rotorul *5*.

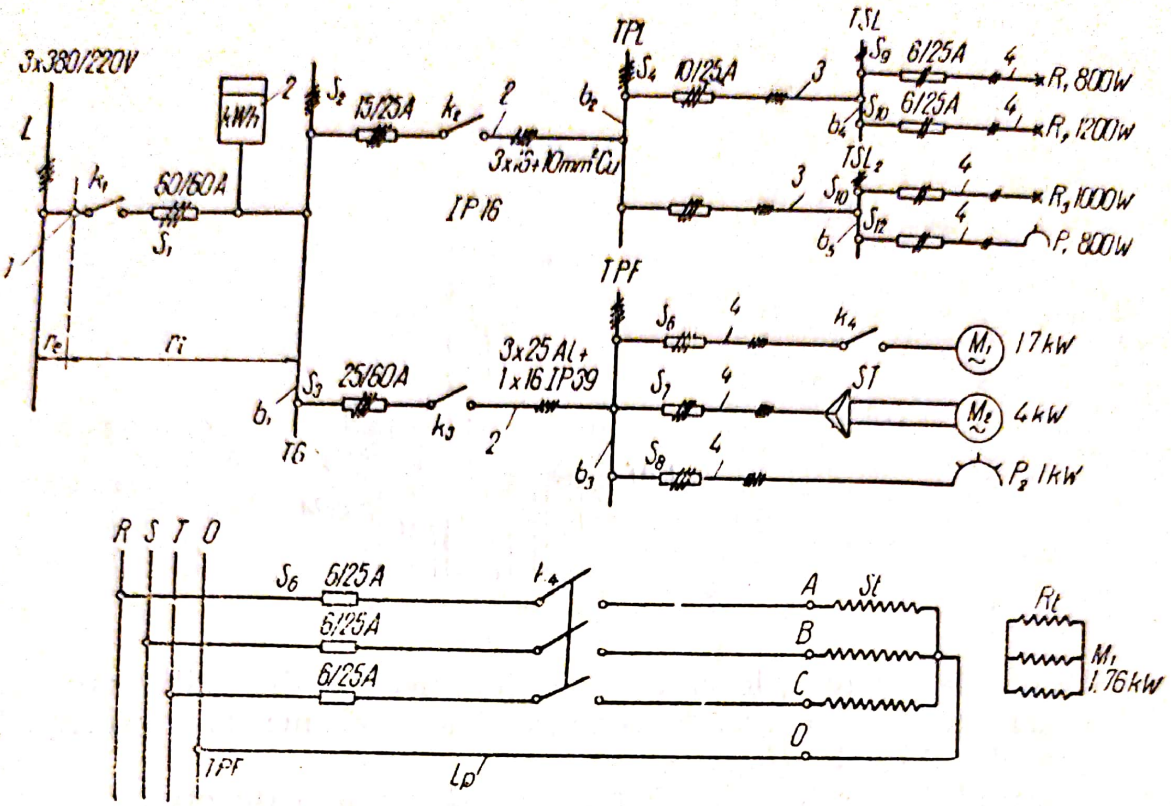


Fig. 5.3.10.

a – schema monofilară de principiu a unei instalaţii electrice de lumină şi forţă, de joasă tensiune ; *b* – schema multifilară de principiu a reţelei de alimentare a motorului M_1 ; *L* – linia de alimentare ; r_e – racord exterior ; *1* – intrare în clădire ; r_i – racord interior ; k_1 – întrerupător general ; S_1 – – – S_{12} – siguranţe fuzibile ; *2* – contor de energie electrică ; *TG* – tablou de distribuţie general ; *TPL* – tablou principal de lumină ; *TPF* – tablou principal de forţă ; *TSL1, TSL2* – tablouri secundare de lumină ; b_1 ... b_5 – barele (sau numărul de faze) ale tablourilor de distribuţie ; k_2 ... k_4 – întrerupătoare la plecările circuitelor ; *ST* – întrerupător stea triunghi ; R_1, R_2, R_3 – lămpi electrice ; P_1 – receptor monofazat ; M_1, M_2 – motoare electrice trifazate ; P_2 – Receptor trifazat ; *St* – statorul motorului asincron ; R_t – rotorul motorului asincron.

2) Schemele de instalaţii electrice exterioare şi interioare, sînt în general scheme de principiu, completate cu plane de situaţie şi cu scheme de montaj. În figura 5.3.10. a, este reprezentată schema monofilară de principiu a unei instalaţii interioare de lumină şi forţă, în care diferitele porţiuni ale reţelei sînt reprezentate printr-o singură linie, pe care se indică numărul conductoarelor cu liniuţe mici, transversale. În figura 5.3.10. *b*, este reprezentată schema multifilară de principiu a circuitului de alimentare a motorului M_1, în care sînt reprezentate toate conductoarele şi în care se pot da şi detalii de montare ale utilajelor.

Pe conductoare se trece secţiunea în mm² şi diametrul tubului de protecţie folosit. Pe siguranţe se trece intensitatea nominală a fuzibilului şi a soclului.

5.3.2. **Distribuţia energiei electrice.** Alimentarea cu energie electrică a consumatorilor şi modul de distribuire a ei, este în funcţie de tipul, puterea, numărul şi amplasarea receptoarelor, precum şi a condiţiilor de funcţionare. În funcţie de aceste cerinţe, sistemele de distribuţie, în joasă tensiune, se clasifică după cum urmează :

— după curentul folosit, distribuția energiei se face în curent continuu sau în curent alternativ.

— după modul de distribuție, rețelele pot avea două, trei sau patru conductoare.

a) Distribuția în curent continuu cu două conductoare (fig. 5.3.11). Tensiunea este constantă, iar curentul total de rețea $I = \Sigma i$ este variabil.

Sistemul are o singură tensiune, atît pentru lumină cît și pentru forță variabilă cu încărcarea, din cauza căderii de tensiune variabilă. Tensiunile normalizate sînt de 110, 220 V, pentru lumină, de 440, 500, 600, 750 V pentru forță și transporturi urbane (troleibuze și tramvaie) și tensiuni mici, impuse de condițiile de exploatare și de securitatea muncii (de 24 V la iluminatul vagoanelor de cale ferată, construcții metalice și de 48,65 V pe vapoare).

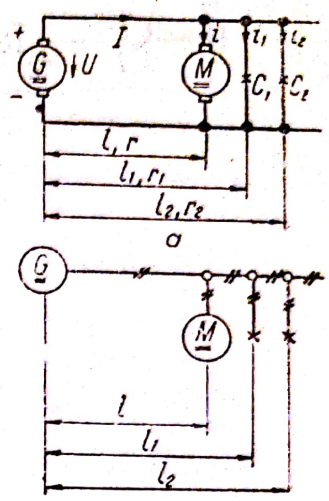


Fig. 5.3.11. Distribuție în curent continuu, cu două conductoare:

a — schema multifilară; *b* — schema monofilară; *G* — generator de curent continuu; *M* — motor de curent continuu; C_1, C_2 — receptor de lumină; l, l_1, l_2 — distanțele dintre generator și receptoare (lungimi ale rețelei); r, r_1, r_2 — rezistențele electrice ale rețelei, corespunzătoare lungimilor l, l_1, l_2; i, i_1, i_2 — curenții absorbiți de receptoare; I — curentul total absorbit de receptoare (debitat de generator)

b) Distribuția în curent continuu cu trei conductoare (fig. 5.3.12). În acest curent există tensiunile

$$U_1 = U_2 = U\,;\; U_r = U_1 + U_2 = 2U$$

astfel că motoarele pot fi alimentate cu tensiunea $2U$ iar lămpile și alte receptoare, cu tensiunea U, pe una din punțile I sau II. Tensiunile normalizate sînt U=110 și 220 V, și U_r=2×110=220 și 2 × 220 = 440 V.

Avantajul acestui sistem constă în existența celor două tensiuni și economia de conductor realizată la transportul aceleiași puteri (sistemul avînd trei conductoare în loc de patru).

Menționăm că în acest sistem se poate face compensarea încărcării pe cele două punți, în caz de dezechilibru, astfel încît curentul în conductorul neutru să fie zero ($I_0 = I_1 + I_2 = 0$).

Pentru reducerea pericolului de electrocutare, neutrul se leagă la pămînt.

Ruperea neutrului produce avarii prin creșterea tensiunii la bornele receptoarelor.

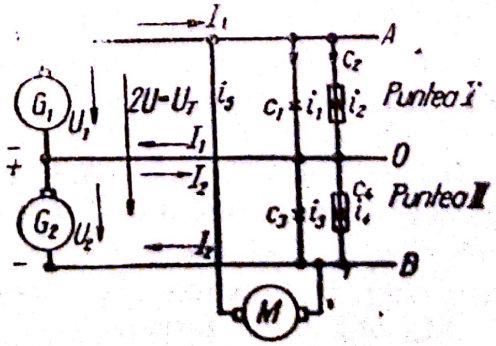


Fig. 5.3.12. Distribuția în curent continuu cu trei conductoare:

G_1, G_2 — generatoare identice; *M* — motor; C_1 ... C_4 — receptoare de lumină, aparate de uz casnic și industrial.

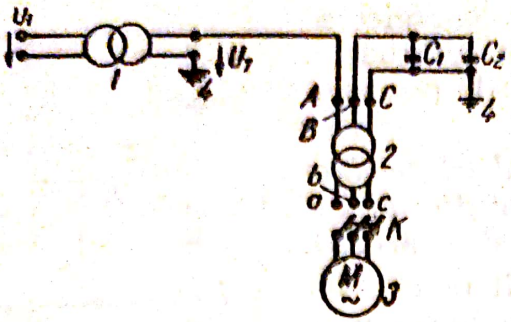


Fig. 5.3.13. Distribuţie unifilară:

1 — transformator monofazat; *2* — transformator trifazat; *3* — motor trifazat; U_1 — tensiunea reţelei de alimentare aplicată primarului transformatorului monofazat; U_2 — tensiunea secundară a transformatorului monofazat, aplicată primarului transformatorului trifazat; *A, B, C* — fazele primarului transformatorului trifazat; C_1, C_2 — condensatoare de decalare a fazelor *B, C* faţă de faza *A*, cu 120° respectiv 240°; *a,b,c* — fazele secundare ale transformatorului trifazat; *k* — întrerupător tripolar; *4* — legări la priza de pămînt.

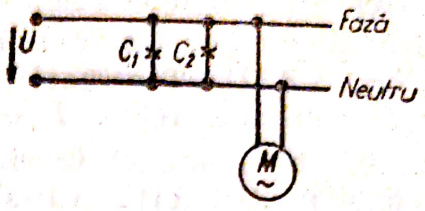


Fig. 5.3.14. Distribuţie monofazată;

U — tensiunea reţelei monofazate; c_1, c_2 — receptoare de lumină monofazate; *M* — receptor de forţă monofazat.

Sistemele de distribuţie în curent continuu au următoarele dezavantaje: căderi de tensiune mari (din cauza că transportul energiei electrice se face la tensiuni mici), ceea ce limitează distanţa de transport (1,5—2 km); conductoarele necesită secţiuni mari. Aceste dezavantaje sînt înlăturate în distribuţia în curent alternativ, unde transportul energiei electrice se poate face la tensiuni mari (pînă la 800 kV).

c) Distribuţia unifilară în curent alternativ (fig. 5.3.13). În acest sistem, un transformator monofazat alimentează o fază a unui transformator trifazat, celelalte două fiind legate la pămînt prin condensatoarele de decalaj C_1, C_2. Tensiunea trifazică obţinută în secundarul transformatorului 2, se aplică motorului *M*.

Această distribuţie se foloseşte rar, la acţionarea unor maşini mobile (macarale, vehicole electrice cu rază de acţiune mică). Din cauza inegalităţii fazelor, puterea dezvoltată de motor este 70—80% din puterea nominală.

d) Distribuţia monofazată în curent alternativ (fig. 5.3.14). Se obţine prin utilizarea unei faze şi a neutrului, dintr-un sistem trifazat, fiind folosită pentru alimentarea receptoarelor de forţă monofazice şi la iluminat. Are dezavantajul că, în cazul unor puteri mai mari a receptoarelor, produce dezechilibru în reţeaua de alimentare.

O variantă a acestui sistem o constituie distribuţia în sistem monotub, care se realizează prin ramificarea unei faze în două braţe R_1, R_2, neutrul fiind comun. Se obţine astfel un circuit de lumină *L* şi unul de prize *P*, introduse în acelaşi tub, toate conductoarele fiind prevăzute cu siguranţe (fig. 5.3.15). Sistemul se foloseşte numai în încăperi de locuit, pentru puteri pînă la 1200 W.

e) Distribuţia trifazată în triunghi (fig. 2.4.22), prezintă dezavantajul de a avea o singură tensiune, de aceea se foloseşte în cazul receptoarelor simetrice (de obicei de forţă).

f) Distribuția trifazată în stea fără conductor neutru (fig. 2.4.22), are același dezavantaj de a avea o singură tensiune.

g) Distribuția trifazată în stea cu conductor neutru (fig. 2.4.19), se folosește mult în joasă tensiune; motoarelor trifazate li se aplică tensiunile de linie (3 × 380 V), iar pentru iluminat se folosesc tensiunile de fază (3 × 220 V), căutîndu-se ca fazele să fie cît mai simetric încărcate.

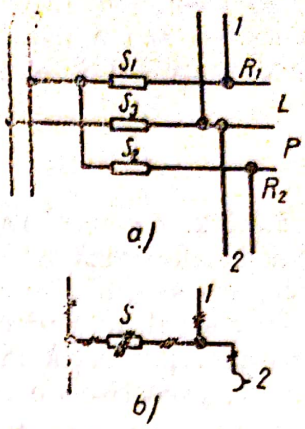


Fig. 5.3.15. Distribuție în sistem monotub:

a — schema multifilară; *b* — schema monofilară; *L* — circuit de lumină; *P* — circuit prize; S_1, S_2, S_3 — siguranțe fuzibile; *1* — corp de iluminat; *2* — priză monofazică.

5.3.3. Calculul rețelelor electrice. 5.3.3.1. *Noțiuni.* Calculul rețelelor elecrice, în vederea alimentării unui receptor cu energie electrică, necesită cunoașterea unor noțiuni, mărimi de calcul și coeficienți, după cum urmează:

a) Receptorul: este un aparat sau un agregat care consumă energie electrică.

b) Consumatorul: constă din totalitatea receptoarelor.

c) Sarcina: este o mărime care caracterizează consumul de energie elecrică (kW, kVAr, kVA, A, etc).

d) Sarcina de calcul este sarcina constantă de durată a unui element din sistemul de alimentare cu energie electrică (transformator, linie etc.) echivalentă, din punct de vedere al efectului termic, cu sarcina variabilă presupusă în calcul sau cu sarcina reală după grafic, denumită putere consumată (se folosesc sarcina: aparentă S_t, activă P_t și reactivă Q_t; în mod analog avem sarcina consumată: aparenta S_c; activă P_c; reactivă Q_c).

e) Curentul de calcul I_t, se determină pe baza acelorași considerente ca și sarcina de calcul.

f) Factorul de putere de calcul cos φ_t este factorul de putere mediu ponderat din perioada de timp analizat (cos $\varphi_{c\,med}$); uneori se folosește valoarea instantanee a factorului de putere, cos φ.

g) Tensiunea de calcul U este tensiunea nominală din punctul considerat al sistemului de alimentare cu energie electrică.

h) Puterea instalată P_i (ca noțiune cu caracter general), este egală cu suma puterilor nominale ale receptoarelor dintr-o instalație electrică.

i) Coeficientul de cerere $k_c \leqslant 1$ este dat de raportul dintre puterea consumată (în cazul exploatării) sau puterea de calcul (în cazul proiectării) și puterea instalată

$$k_c = \frac{P_c}{P_i}; \quad k = \frac{P_t}{P_i} \tag{5.3.2}$$

j) Coeficientul de utilizare k_u este dat de raportul dintre puterea medie consumată de receptor în perioada analizată (1 h, 2 h, schimb) și puterea sa instalată

$$k_u = \frac{P_{med}}{P_i} \tag{5.3.3}$$

k) Coeficientul de simultaneitate k_s este raportul dintre sarcina maximă a secţiei sau a uzinei şi suma sarcinilor maxime ale diverselor grupe de receptoare sau de secţii :

$$k_s = \frac{P_{secţie}}{\Sigma P_{receptoare}} ; \quad k_s = \frac{P_{uzină}}{\Sigma P_{secţie}} . \tag{5.3.4}$$

5.3.3.2. *Calculul reţelelor de distribuţie.* Conductoarele reţelelor electrice se dimensionează astfel ca să aibă rezistenţa mecanică în condiţiile de exploatare, respectîndu-se anumite prescripţii din punct de vedere electric.

În cadrul acestui curs, se va arăta calculul reţelelor pe baza căderii de tensiune, protecţia la încălzire fiind asigurată la încărcările admisibile de curent, prescrise de norme, pentru secţiile normalizate ale conductoarelor.

La trecerea curentului electric continuu, în reţele apare o cădere de tensiune ohmică, datorită rezistenţei electrice a liniei, iar în cazul curentului alternativ, apare şi o cădere de tensiune reactivă, datorită reactanţei liniei.

Datorită căderii (pierderii) de tensiune U, a cărei valoare creşte cu sarcina reţelei, tensiunea U la sfîrşitul reţelei, adică la bornele receptorului, este mai mică decît tensiunea U_1 la începutul ei :

$$U = U_1 - \Delta U ; \; \Delta U = U_1 - U = I \cdot r = I \cdot \rho = I \cdot \rho \cdot \frac{L}{S} \tag{5.3.5}$$

L fiind lungimea totală a liniei, adică a conductorului de dus şi de întors, în cazul liniilor cu două conductoare, şi lungimea simplă a liniei în cazul liniilor trifazate.

Căderea de tensiune relativă ε este dată de raportul dintre căderea de tensiune ΔU şi tensiunea nominală U a reţelei, în procente

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 \; [\%] \tag{5.3.6}$$

valorile de calcul prescrise fiind în funcţie de natura reţelei (tab. 5.3.7).

Tensiunea secundarelor transformatoarelor sau a centralelor proprii (deci tensiunea la începutul reţelei de alimentare) trebuie să fie mai mare decît tensiunea nominală a receptoarelor, pentru a se acoperi pierderile de tensiune în reţelele de transport şi distribuţie.

a) Calculul reţelelor de curent continuu.

Circuit simplu cu sarcină concentrată, alimentat la un capăt (fig. 5.3.16). Căderea de tensiune în reţea este :

$$\Delta U = \frac{\varepsilon U}{100} = r \cdot I = \rho \frac{2l}{s} \cdot \frac{P}{U} = \frac{2l}{\gamma \cdot s} \cdot \frac{P}{U}$$

unde avem : ρ — rezistivitatea materialului conductorului ; γ — conductivitatea ; l — lungimea liniei ; s — secţiunea conductorului P — puterea receptorului ; U — tensiunea nominală a reţelei la locul de consum.

Scanned with OKEN Scanner

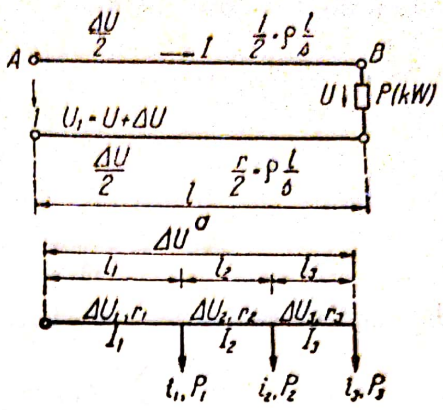


Fig. 5.3.16. Circuit simplu de curent continuu, cu sarcină concentrată, alimentat la un capăt

a — schema multifilară; *b* — schema monofilară; *r* — rezistența totală a conductelor circuitului; *P* — receptorul din circuit; *l* — lungimea simplă a circuitului.

Rezultă următoarele relații de dimensionare, care dau secțiunea conductorului în funcție de curentul din rețea sau de puterea receptorului (tensiunea fiind constantă):

$$s = \frac{200\,\rho\,l\,I}{\varepsilon U} = \frac{200\,l\,I}{\gamma\,\varepsilon\,U} \left[\frac{\frac{\Omega\,\text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \text{m} \cdot \text{A}}{\text{V}} = \text{mm}^2 \right] \qquad (5.3.7.)$$

$$s = \frac{200\,\rho\,l\,P}{\varepsilon\,U^2} = \frac{200\,l\,P}{\gamma\,\varepsilon\,U^2}\ [\text{mm}^2] \qquad (5.3.8.)$$

În cazul circuitelor de forță, se introduce în calcule randamentul η al receptorului:

$$s = \frac{200\,\rho\,l\,P}{\varepsilon\,U\,\eta} = \frac{200\,\rho\,l\,P}{\varepsilon\,U^2\,\eta}\ [\text{mm}^2] \qquad (5.3.9.)$$

— *Circuit cu mai multe sarcini*, alimentat la un capăt (fig. 5.3.17). Intensitatea curentului variază de-a lungul liniei, valoarea lui pe diferite porțiuni fiind:

$$I_3 = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{\sum_1^n P_n}{U}\ ;\ I_2 = i_1 + i_2 = \frac{\sum_1^{n-1} P_{n-1}}{U}\ ;\ I_1 = i_1 = \frac{\sum_1^{n-2} P_{n-3}}{U}\ .$$

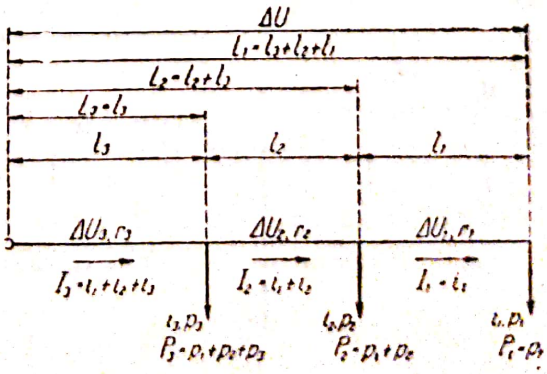


Fig. 5.3.17. Circuit cu mai multe sarcini, alimentat la un capăt:

r_1, r_2, r_3 — rezistențele porțiunilor de circuit; ΔU_1, ΔU_2, ΔU_3 — căderile de tensiune pe porțiunile de circuit; l_1, l_2, l_3 — lungimile porțiunilor de circuit.

Căderea de tensiune totală este

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3 = I_1 \frac{2\rho l_1}{s} + I_2 \frac{2\rho l_2}{n^s} + I_3 \frac{2\rho l_3}{s} =$$

$$= \frac{2}{\gamma s} (I_1 l_1 + I_2 l_2 + I_3 l_3)$$

$$\Delta U = \frac{\varepsilon U}{100} = \frac{2}{\gamma s} \sum_1^n F_i l_i = \frac{2}{\gamma s U} \sum_1^n p_i l_i$$

de unde rezultă secţiunea conductorului

$$s = \frac{200}{\gamma \varepsilon U \eta} \sum I_i l_i = \frac{200}{\gamma \varepsilon U^2 \eta} \sum P_i l_i \qquad [\text{mm}^2] \qquad (5.3.10.)$$

Se pot uşor demonstra egalităţile

$$\sum I_i l_i = \sum i_i L_i \text{ [Am] şi } \sum P_i l_i = \sum p_i l_i \qquad [\text{Wm}]$$

unde $\sum i_i L_i$ reprezintă suma momentelor curenţilor furnizaţi fiecărui consumator, în raport cu punctul de alimentare, iar $\Sigma p_i L_i$ este suma momentelor sarcinilor. Relaţiile precedente devin:

$$s = \frac{200}{\gamma \varepsilon U \eta} \Sigma i_i L_i = \frac{200}{\gamma \varepsilon U^2 \eta} \Sigma p_i L_i \qquad [\text{mm}^2]. \qquad (5.3.11.)$$

Calculul se mai poate efectua pentru fiecare porţiune de circuit, separat, admiţînd pierderile de tensiune ΔU_i, în care caz se determină s_1, s_2, s_3 a fiecărei porţiuni.

Circuit cu sarcină uniform distribuită alimentat la un capăt (fig. 5.3.18). În acest caz secţiunea este dată de relaţia:

$$s = \frac{100 l I}{\gamma \varepsilon U} = \frac{100 l P}{\gamma \varepsilon U^2} \qquad [\text{mm}^2]. \qquad (5.3.12.)$$

în care avem, $I = \Sigma i$ şi $P = \Sigma p$, iar l este lungimea simplă a circuitului. Se vede că o sarcină uniform distribuită este echivalentă cu o sarcină con-

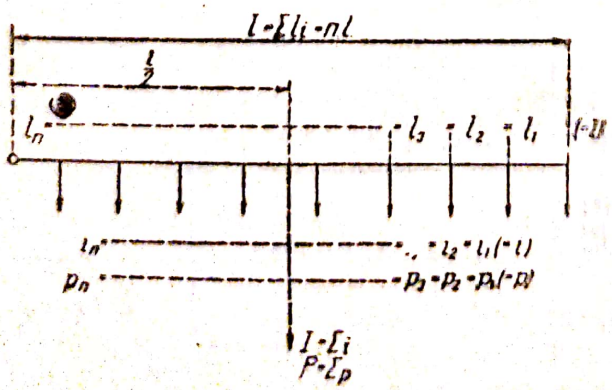


Fig. 5.3.18. Circuit cu sarcină uniform distribuită alimentat la un capăt.

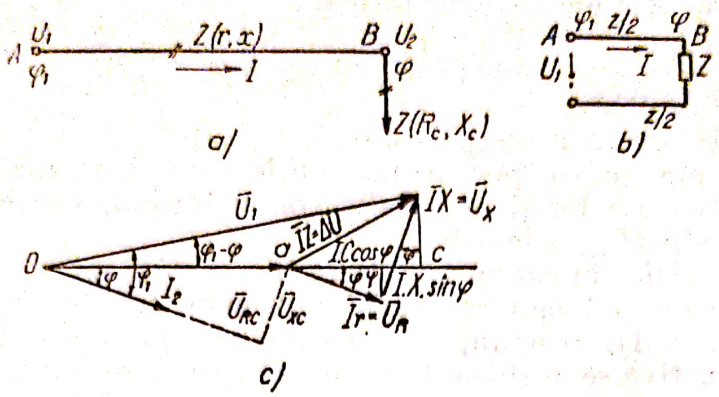


Fig. 5.3.19. *A* — schema monofilară a circuitului monofazat cu sarcina concentrată Z (R_c, X_c), alimentat la un capăt:

AB — linia de transport, cu impedanța $Z(r, x)$; U_1 — tensiunea la începutul rețelei; U_2 — tensiunea la sfîrșitul rețelei; φ_1 — defazarea dintre U_1 și I la începutul rețelei; φ — defazarea dintre U_2 și I (produsă de receptorul Z alimentat de linie), la sfîrșitul rețelei; U , U — căderile de tensiune, ohmică și inductivă, prin receptorul Z; U , X , — căderile de tensiune în linia de transport; *b* — schema multifilară; *c* — diagrama vectorială; a circuitului; I — curentul absorbit de receptorul Z.

centrată egală cu ea ($I = \Sigma i$, $P = \Sigma p$) situată la jumătatea lungimii circuitului.

b) Calculul rețelelor de curent alternativ. În curent alternativ, pe liniile de transport apar căderi de tensiune ohmice Ir și reactive Ix, căderea de tensiune totală fiind Iz, unde r, x și z sînt rezistența ohmică, reactanța (de obicei inductivă) și z impedanța liniei de transport (fig. 5.3.19). Unghiul de defazare dintre curentul I din circuit și tensiunea U_2 la receptor este φ. (determinat de rezistența R_c și reactanța X_c a consumatorului). Datorită parametrilor r, x ai liniei, între curentul I și tensiunea de alimentare U_1, apare defazarea φ_1, iar între cele două tensiuni, defazarea φ_{12}.

— *Circuit monofazat cu sarcină concentrată,* alimentat la un capăt (fig. 5.3.57. a).

Căderea de tensiune pe linie este dată de relația

$$\Delta\bar{U} = \bar{U}_1 - \bar{U}_2 \text{ care are valoarea } \Delta U = Iz = I\sqrt{r^2 + x^2} \text{ [V]} \qquad (5.3.13.)$$

sau, aproximativ

$$\Delta U \approx U_1 - U_2 = I\,r\cos\varphi + Ix \sin\varphi = rI_a + xI_r \qquad (5.3.13.)$$

unde $I_a = I\cos\varphi$ este componenta activă și $I_r = I\sin\varphi$ componenta reactivă a curentului I din circuit. Din relația precedentă, avem

$$\varepsilon \cdot \frac{U}{100} - Ix\sin\varphi = Ir\cos\varphi = \rho\frac{2l}{s}I\cos\varphi$$

de unde se află secţiunea conductorului

$$s = \frac{200\,\rho\,l\,I\cos\varphi}{EU - 100\,x\,I\sin\varphi}\ [\text{mm}^2]; \quad \text{unde avem } I = \frac{P}{U\cos\varphi}\ [\text{A}] \qquad (5.3.14.)$$

P fiind puterea activă a receptorului Z.

În calculele practice se pot utiliza tabela care dau liniilor aeriene, în funcţie de construcţia lor şi materialul conductorului, verificarea lor fiind făcută la încălzire (I_{max} admisibil).

La reţelele electrice în cablu, în tuburi sau la orice reţea la care distanţa dintre conductoare şi lungimea reţelei sînt mici, sau la reţele cu sarcină ohmică (cos $\varphi = 1$), reactanţa inductivă este mică, astfel încît căderea de tensiune inductivă se neglijează. În aceste cazuri, se folosesc următoarele relaţii simplificate, ţinînd seama de randamentul η al instalaţiei:

$$\Delta U = \frac{\varepsilon U}{100} = I\cos\varphi\,\rho\,\frac{2l}{s} = \frac{P}{U}\varphi\,\frac{2l}{s}$$

$$s = \frac{200\,\rho\,l\,I\cos\varphi}{\varepsilon\,U\,\eta} = \frac{200\,\rho\,l\,P}{\varepsilon\,U^2\,\eta}\ [\text{mm}^2] \qquad (5.3.15.)$$

care pentru cos $\varphi = 1$, devin identice cu relaţiile (5.3.9.) stabilite în cazul reţelei similare de curent continuu.

— *Circuit trifazat cu sarcină trifazată concentrată* alimentat la un capăt (fig. 5.3.20). Considerînd relaţiile dintre căderile de tensiune de linie ΔU şi de fază ΔU_f şi curenţii de linie I_l şi de fază I_f, la legarea în stea şi la cea în triunghi

$$\Delta U = \frac{\varepsilon U}{100} = \sqrt{3}\,\Delta U_f = \sqrt{3}\,Ir\cos\varphi + \sqrt{3}\,I\,x\sin\varphi \qquad (5.3.16.)$$

$$I_l = I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U\cos\varphi} = \sqrt{3}I_f \qquad (5.3.17.)$$

unde r şi x sînt parametrii unei faze, P este puterea activă totală a circuitului, U este tensiunea de linie, l este lungimea simplă a liniei, I este curentul de linie, rezultă relaţiile

$$S = \frac{173\,\rho\,l\,I\cos\varphi}{\varepsilon U - 173I\,x\sin\varphi}\ \text{sau}\ s = \frac{173\,\rho\,l\,I\cos\varphi}{\eta(\varepsilon\,U - 173\,I\,x\sin\varphi)}\ [\text{mm}^2] \qquad (5.3.18.)$$

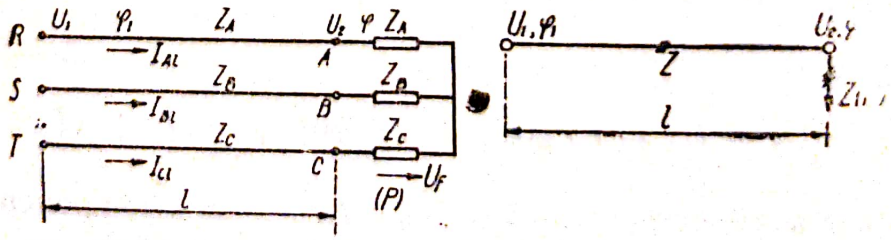


Fig. 5.3.20. Circuit trifazat cu sarcină trifazată concentrată:
a — schema multifilară; *b* — schema monofilară; U_{l_1}, U_{l_2} — tensiunile de linie la începutul şi sfîrşitul reţelei; φ_1 — φ_2 — unghiurile de decalare la începutul şi sfîrşitul reţelei; I_l — curenţii de linie; Z — receptor trifazat (cu puterea activă P); U_f — tensiunea de fază

Scanned with OKEN Scanner

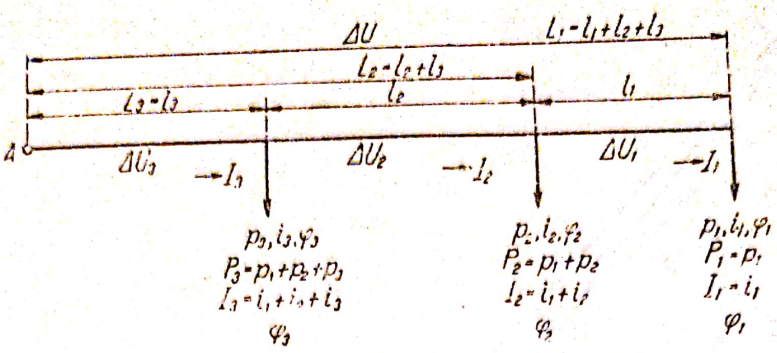


Fig. 5.3.21. Circuit cu sarcini distribuite (monofazat sau trifazat);

p_i — puterile receptoarelor; i_i — curenții absorbiți de receptoare; $\varphi_i r$, (cos $\varphi_i r$) — defazările și factorii de putere ai receptoarelor; φ, (cos φ) — decalajele și factorii de putere pe porțiuni de circuit; $P_i = \Sigma p_i$ — puterile însumate pe porțiuni de linie; l_1 — distanțele dintre receptoare; $L_i = \Sigma l_i$ — distanțele însumate de la începutul liniei la receptoare; $I = \Sigma i_i$ — curenții pe porțiuni de linie; $\Delta U_1 \neq \Delta U_2 \neq \Delta U_3$ — căderile de tensiune pe porțiunile de linie; ΔU — căderea de tensiune totală

Neglijînd reactanța liniei, din relația (5.3.16), se află

$$\Delta U = \frac{\varepsilon U}{100} = \sqrt{3} I \rho \frac{l}{s} \cos \varphi = \sqrt{3} \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} \cdot \rho \frac{l}{s} \cos \varphi$$

și

$$s = \frac{173 \rho l I \cos \varphi}{\varepsilon U} = \frac{100 \rho l P}{\varepsilon U^2} \quad [\text{mm}^2]. \qquad (5.3.19.)$$

- *Circuite monofazate și trifazate, cu mai multe sarcini distribuite de-a lungul liniei*, alimentate la un capăt (fig. 5.3.21). Căderea de tensiune totală ΔU, este dată de suma geometrică a căderilor de tensiune pe porțiunile de linie ΔU_i, inegal și defazate între ele (fig. 5.3.22). Pentru un circuit monofazat (sau o fază a rețelei trifazice), avem

$$\overline{\Delta U} = \overline{\Delta U}_1 + \overline{\Delta U}_2 + \overline{\Delta U}_3 + \ldots + \overline{\Delta U}_n \qquad (5.3.20.)$$

sau neglijînd inductanțele liniilor

$$\Delta U = \varepsilon \frac{U}{100} = \Sigma I r \cos \varphi = \frac{2\rho}{s} \Sigma l I \cos \varphi \qquad (5.3.21.)$$

de unde rezultă

$$s = \frac{200 \rho \Sigma l I \cos \rho}{\varepsilon U} = \frac{200 \rho E L i \cos \varphi_r}{\varepsilon U} \qquad (5.3.22.)$$

unde cos φ este decalajul pe porțiuni de circuit, cos φ_r este decalajul la receptoare și Li este momentul curentului absorbit de receptoare față de punctul de alimentare A.

Scanned with OKEN Scanner

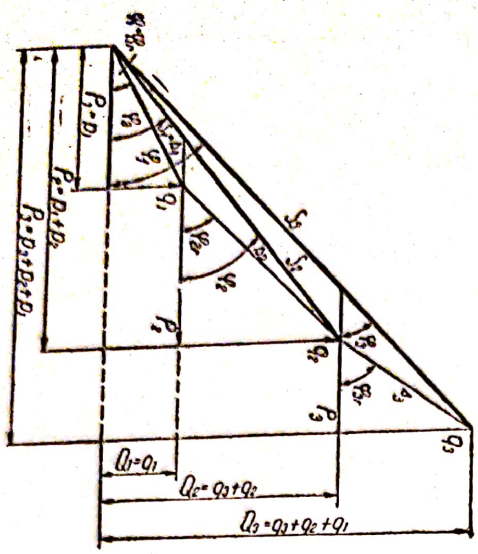


Fig. 5.3.22. Determinarea grafică a decalajelor, în cazul mai multor receptoare diferite (decalaje pe consumator φ_{ir} pe porțiuni de circuit φ_i)

În mod analog, în curent trifazat se află

$$s = \frac{173\,\rho\,\Sigma\,l\,I\cos\varphi}{\varepsilon U} = \frac{173\,\Sigma\,L\,i\cos\varphi_r}{\varepsilon U} \quad [\text{mm}^2] \qquad (5.3.23.)$$

Ținînd seama de relațiile

$$\Delta U = \varepsilon\frac{U}{100} = \rho\frac{2}{s}\,\Sigma\cdot l\cdot\frac{P}{U\cos\varphi} \qquad (5.3.24)$$

relațiile precedente devin, pentru un circuit, monofazat

$$s = \frac{200\,\rho\,\Sigma\,l\,P}{\varepsilon\,U^2} = \frac{100\,\rho\,\Sigma\,L\,p}{\varepsilon\,U^2} \qquad (5.3.25.)$$

și pentru un circuit trifazat

$$s = \frac{100\,\rho\,\Sigma\,l\,P}{\varepsilon\,U^2} = \frac{100\,\rho\,\Sigma\,L\,p}{\varepsilon\,U^2}\,. \qquad (5.3.26.)$$

Pentru determinarea unghiurilor de decalaj φ_i, pe porțiuni, se descompun puterile P_i pe porțiuni, în puteri active și reactive, apoi se determină decalajele pe porțiuni, grafic (fig. 5.3.60) sau analitic. Pe porțiunile l_1, l_2, l_3 se află:

$$P_1 = p_1 = \sqrt{3}\,U\,i_1\cos\varphi_{1r}\,;\ Q_1 = q_1 = \sqrt{3}\,U\,i_1\sin\varphi_{1r} \qquad (5.3.27.)$$

$$P_2 = p_1 + p_2 = \sqrt{3}\,U(i_1\cos\varphi_{1r} + i_2\cos\varphi_{2r}) \qquad (5.3.28.)$$

$$Q_2 = q_1 + q_2 = \sqrt{3}\,U(i_1\sin\varphi_{1r} + i_2\sin\varphi_{2r}) \qquad (5.3.29.)$$

$$P_3 = p_1 + p_2 + p_3 = \sqrt{3}\,U(i_1\cos\varphi_{1r} + i_2\cos\varphi_{2r} + i_3\cos\varphi_{3r}) \qquad (5.3.30.)$$

$$Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 = \sqrt{3}U(i_1\sin\varphi_{1r} + i_2\sin\varphi_{2r} + i_3\sin\varphi_{3r}) \qquad (5.3.31.)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1}\ ;\ \operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2}\ ;\ \operatorname{tg}\varphi_3 = \frac{Q_3}{P_3} \qquad (5.3.32.)$$

Scanned with OKEN Scanner

c) Alegerea siguranțelor fuzibile în rețelele electrice. În rețelele de joasă tensiune se folosesc elemente fuzibile calibrate pentru valorile nominale de 4, 6, 10, 15, 20, 25, 35, 60, 80, 100, 125, 150, 200, 225, 260, 300, 450, 500, 600, 700, 850, și 1000 A.

Cînd sarcina rețelei variază lent (iluminat, motoare cu reostat de pornire), se alege un fuzibil cu curentul nominal I_f cît mai apropiat de curentul de lucru al liniei protejate.

$$I_f \geqslant I_l \tag{5.3.33.}$$

Cînd sarcina rețelei variază brusc, depășind curentul de lucru (în cazul pornirii motoarelor), se adoptă un fuzibil cu inerție, a cărui valoare nominală este dată de relația (5.3.33). Dacă se adoptă o siguranță cu acțiune instantanee, valoarea ei nominală se determină cu relația

$$I_f = \frac{I_p}{2{,}5} \tag{5.3.34.}$$

unde I_p este curentul de pornire al motoarelor (în general, supracurentul față de curentul nominal al liniei, I_l). Curentul de lucru al unei linii care alimentează mai multe motoare este dat de relația

$$I_l = a \sum_1^n I_n \tag{5.3.35.}$$

unde I_n este curentul nominal al motoarelor. Coeficientul a se numește factor de simultaneitate, valoarea lui fiind 0,9 — 1 pentru 5—8 motoare și pînă la 0,8 pentru 20—30 motoare.

Curentul de pornire pe linie, pentru un număr n redus de motoare, se determină cu relația

$$I_{pl} = a \sum_1^{n-1} I_n + I_p \tag{5.3.36.}$$

unde I_p este curentul de pornire al motorului la care raportul I_p/I_n este cel mai dezavantajos.

Valoarea admisibilă, dată de norme, a curentului de durată în conductoare I_d, trebuie să fie mai mare decît curentul de lucru al rețelei I_l, iar valoarea nominală a fuzibilului I_f, nu poate depăși curentul admisibil de durată.

$$I_f \leqslant I_d \leqslant I_l \tag{5.3.37.}$$

În încheiere, amintim că la proiectarea liniilor electrice se prevede calculul mecanic al liniei (fundații, stîlpi, conducte), și calculul curenților de scurtcircuit.

CAPITOLUL VI

UNELE UTILIZĂRI ALE ENERGIEI ELECTRICE ÎN CONSTRUCȚII

6.1. ILUMINATUL ELECTRIC

6.1.1. **Generalități.** *a) Iluminarea artificială a locului de muncă*, în timpul zilei sau în timpul nopții, se face în scopul creării condițiilor de vizibilitate, atunci cînd lumina naturală este insuficientă.

Justificarea iluminării artificiale a șantierelor decurge din necesitatea terminării lucrărilor în scurt timp, din imposibilitatea întreruperii unor lucrări, executarea de lucrări în spații întunecoase sau alte motive de ordin tehnic, economic sau de protecția muncii.

O iluminare bună a șantierelor trebuie să fie suficientă, să nu fie prea intensă, pentru a nu produce fenomenul de orbire, să fie constantă, fără fluctuații de intensitate, să fie uniform repartizată, spre a nu favoriza producerea accidentelor, să fie cît mai apropiată de lumina zilei, iar sistemul de iluminat să fie cît mai economic.

Dintre dezavantajele iluminării artificiale se menționează scumpirea lucrărilor prin costul instalației și a consumului de energie electrică, obosirea vederii, care influențează asupra sistemului nervos central și necesitatea intensificării măsurilor de siguranță spre a se preveni accidentele.

Pe șantiere se aplică, în general, următoarele sisteme de iluminare:

— iluminatul general al zonei de lucru și de circulație;

— iluminatul de pază, alimentat prin circuite separate, care funcționează și în perioadele de întrerupere a muncii pe șantier.

Se asigură iluminarea clădirilor anexă (ateliere, birouri, magazii) care deservesc șantierul.

b) Mărimi și unități fotometrice uzuale. Fluxul luminos Φ, este debitul de energie radiată sau primită de un corp, evaluată după senzația luminoasă pe care o produce asupra ochiului. Are ca unitate de măsură lumenul (lm).

Intensitatea luminoasă I, arată modul de distribuție a fluxului luminos în spațiu, deoarece sursele de lumină nu radiază fluxul uniform în toate direcțiile. Considerînd o sursă de lumină punctiformă L, care emite într-o anumită direcție un flux luminos constant, cuprins în unghiul solid ω, iluminarea se definește prin raportul dintre fluxul luminos și unghiul spațial ω,

Scanned with OKEN Scanner

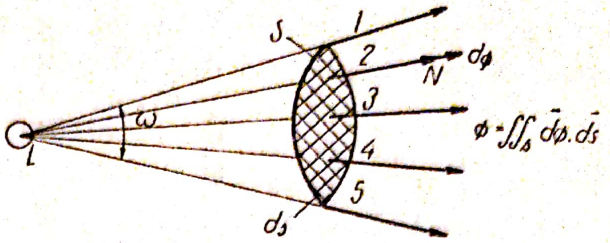


Fig. 6.1.1. Flux luminos disipat într-un spațiu (tub) conic, al cărui unghi solid, la vîrf, este ω:
L — sursă de lumină; S — suprafața străbătută de flux; $d\Phi$ — flux luminos elementar care străbate suprafața elementară d_S, dirijat după normala N la această suprafață; $1 \ldots 5$ — linii ale fluxului luminos.

după care acesta este disipat (fig. 6.1.1). Are ca unitate de măsură candela (cd):

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \qquad [\text{cd}] \qquad (6.1.1)$$

Iluminarea E, se definește ca densitatea de flux luminos pe o suprafață S, fiind dată de raportul dintre componenta normală a fluxului pe o suprafață și suprafața S:

$$E = \frac{\Phi}{S} \qquad [\text{lx}]$$

Are ca unitate de măsură luxul (lx), egal cu un flux de 1 lumen pe o suprafață de un metru pătrat (1 lx = 1 lm/1 m²). Iluminarea este invers proporțională cu pătratul distanței dintre sursa de lumină și suprafața iluminată.

Strălucirea B_α, după o direcție d_α, a unei surse de lumină sau a unui corp iluminat, este raportul între intensitatea luminoasă a sursei sau a corpului, după aceea direcție, și suprafața S care reflectează lumina, proiectată pe un plan P, perpendicular pe direcția d_α (fig. 6.1.2).

$$B_\alpha = \frac{I_\alpha}{S \cos \alpha}; \text{ pentru } \alpha = 0, \text{ avem: } B = \frac{I}{S} \qquad \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2}\right] \qquad (6.1.2.)$$

Unitatea de strălucire în S.I este candela pe metru pătrat.

Coeficientul de reflexie ρ, arată capacitatea corpului de a reflecta fluxul luminos. Este un număr adimensional, dat de raportul dintre fluxul reflectat de un corp Φ_r și fluxul incident Φ_i

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \qquad (6.1.3.)$$

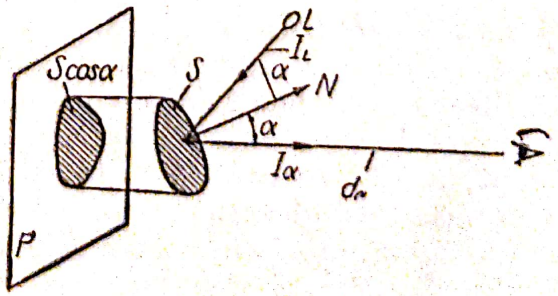


Fig. 6.1.2. Definirea strălucirii:
L — sursă de lumină; S — suprafață iluminată care reflectă lumina; N — normala la suprafață; I_L — intensitatea luminoasă incidentă; I_α — intensitatea luminoasă reflectată; α — unghiul de reflexie egal cu cel de incidență; P — plan perpendicular pe direcția α; d_α — direcția α.

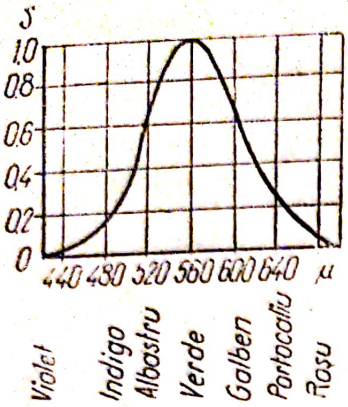


Fig. 6.1.3. Curba sensibilităţii relative a ochiului.

În tabela 6.1.1., sînt date nuanţele culorilor suprafeţelor în funcţie de mărimea procentuală a coeficientului de reflexie.

Eficacitatea luminoasă a unei lămpi η, este dată de raportul dintre fluxul luminos emis de o lampă şi puterea electrică absorbită (lumeni pe watt)

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}}\right] \qquad (6.1.4.)$$

c) Probleme ale iluminatului modern. Rezolvarea pe baze moderne a iluminatului electric constituie o problemă legată de obţinerea unor rezultate bune în domeniul ridicării productivităţii muncii în toate sectoarele de activitate, precum şi de îmbunătăţire a condiţiilor de viaţă a oamenilor muncii. Perfecţionarea şi mărirea economicităţii şi calităţii iluminatului, au impus dezvoltarea metodelor de proiectare în construcţii şi instalaţii, precum şi lărgirea bazei materiale a industriei electrotehnice producătoare de izvoare de lumină, creindu-se condiţii favorabile pentru îmbogăţirea conţinutului noţiunii de „iluminat". În prezent, iluminatul nu mai are un caracter simplu utilitar, acela de a asigura în orice condiţii un anumit nivel de iluminare, ci trebuie să asigure iluminarea în condiţii de calitate şi confort, cu satisfacerea cerinţelor estetice şi arhitecturale, trebuind să corespundă cerinţelor sub aspect tehnic, fiziologic şi psihologic.

d) Natura luminii. Pe baza ipotezelor formulate de Newton, Huygens, Fresnel, Maxwell şi ca urmare a descoperirilor fizicii moderne, s-a ajuns la concluzia că lumina posedă concomitent proprietăţi corpusculare, datorită existenţei unor particule de lumină, numite fotoni şi proprietăţi ondulatorii, datorită naturii ei electromagnetice, situîndu-se într-o gamă restrînsă cîmpului electromagnetic, vizibil în acest sector (lumina : corpuscul — undă). Ea se propagă în vid, cu viteza de aproximativ 300 000 km/s. Radiaţiile luminoase au lungimi de undă cuprinse între 0,4 μ şi 0,75 μ, care le fixează proprietăţile fizice, şi o anumită amplitudine, care determină intensitatea lor.

6.1.2. **Surse electrice de lumină şi corpuri de iluminat.** Pentru iluminatul artificial se utilizează aproape exclusiv surse de lumină electrice, cu incandescenţă, fluorescente şi luminiscente.

a) Lampa electrică cu incandescenţă (tab. 6.1.1) se compune dintr-un balon de sticlă (clară, mată sau opalină), cu vid înaintat sau cu gaz inert, soclu filetat şi filament (din wolfram aliat cu oxid de toriu, tungsten, etc), simplu spiralizat sau dublu spiralizat. La trecerea curentului electric prin filament, acesta se încălzeşte la temperatura de culoare de peste 3500°K, cînd devine incandescent şi emite radiaţii luminoase cu lungime de undă mare (de culoare galbenă), care diferă destul de mult de compoziţia luminii naturale.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 6.1.1

Lămpi și corpuri de iluminat

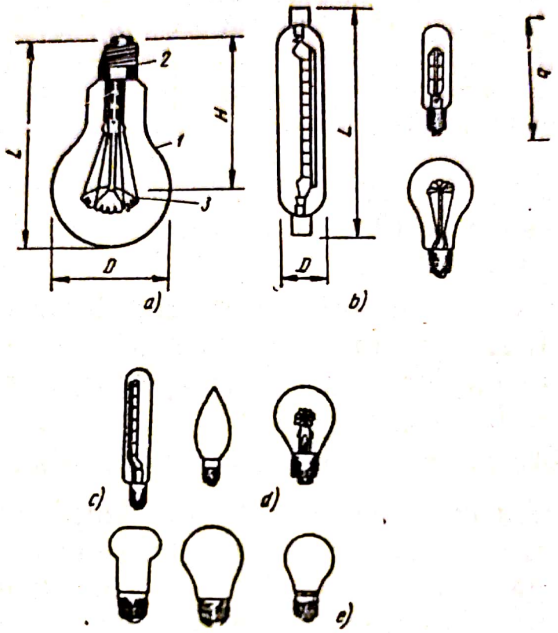
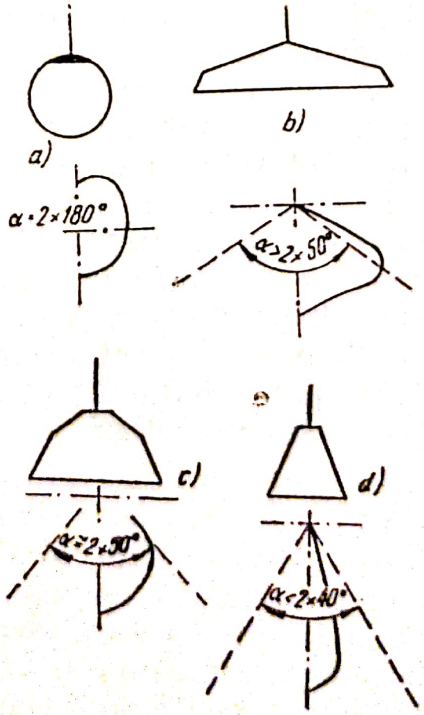
Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
1	Lampă cu incandescență		*a)* — normală *IN* *b)* — sofete (*TSo* *GTSo*); *c)* — tip *GT* și *SeT*; *d)* — lumînare; *1* — balon de sticlă; *2* — soclu; *3* — filament; *H* — înălțimea centrului luminos; *D* — diametrul balonului; *L* — lungimea lămpii;
2	Clasificarea corpurilor de iluminat după valoarea unghiului în care se emite fluxul luminos		repartiția: *a)* — difuză; *b)* — largă; *c)* — mijlocie; *d)* — concentrată — unghiul în care se emite fluxul luminos

Tabela 6.1.2.

Clasificarea corpurilor de iluminat după repartizarea spaţială a fluxului luminos

Procentele din fluxul luminos al corpurilor de iluminat orientate:	Tipul corpului de iluminat, după repartizarea:				
	directă	semi-directă	mixtă	semi-indirectă	indirectă
în sus, %	0—10	10—40	40—60	60—90	90—100
în jos, %	100—90	90—60	60—40	40—10	10—0

Durata de funcţionare a acestor lămpi este, în medie,de 1000 ore iar randamentul luminos este mic (3 — 5%), restul puterii absorbite fiind disipată sub formă de căldură.

Deşi constituie izvoare de lumină destul de imperfecte, lămpile cu incandescenţă, sînt foarte răspîndite, datorită maniabilităţii, dimensiunilor reduse, siguranţei în exploatare, ieftinităţii lor, şi calităţilor pe care le au, din punct de vedere fiziologic şi psihic.

Caracteristicile lămpilor cu incandescenţă sînt date în tabela 6.1.2.

b) Lămpile electrice cu fluorescenţă sînt lămpi cu descărcări în gaze (cu luminiscenţă), la care emisia de radiaţii luminoase apare la trecerea curentului electric prin gaze rarefiate. Ele sînt de următoarele tipuri: lămpi fluorescente cu vapori de mercur de joasă presiune; lămpi cu vapori de mercur de medie şi de înaltă presiune, cu sau fără balon fluorescent. Lampa cu fluorescenţă tubulară, cu vapori de mercur de joasă presiune (fig. 2.2.3) se compune dintr-un tub de sticlă în care, după o vidare prealabilă, se introduce argon şi vapori de hidrargir la presiune redusă. Aplicînd tubului o tensiune, între cei doi electrozi ai lui se produc descărcări electrice şi vaporii de mercur emit un spectru de emisie constituit din radiaţii ultraviolete (invizibile) şi violete (vizibile). Interiorul tubului de sticlă este acoperit cu un strat fluorescent care, absorbind radiaţiile ultraviolete, produce radiaţii din domeniul vizibil (fenomen de fotofluorescenţă), care constituie un spectru luminos continuu, peste care se suprapune spectrul vizibil a mercurului, conţinînd radiaţii violete, albastre, verzi şi galbene. Folosind diferite pulberi sau amestecuri de pulberi fluorescente, se obţin tuburi luminiscente cu diferite nuanţe de alb, care pot fi îmbunătăţite prin îmbogăţirea spectrului în radiaţii roşii şi reducerea lui în radiaţii albastre, pentru o redare mai fidelă a culorilor.

Lămpile fluorescente au o eficienţă de 3—6 ori mai mare şi o durată de 2,5 ori mai mare decît cele cu incandescenţă.

Pentru aprinderea lămpii electrozii trebuie să aibă o temperatură de 800—1000 °C, ceea ce se realizează prin legarea lor în serie, pentru scurt timp, cu ajutorul starterului *S*. În serie cu lampa se montează inductanţa *L*, care limitează, după aprinderea lămpii, curentul şi stabilizează astfel regimul ei de funcţionare.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 6.1.3.

Valorile iluminărilor pentru diferite încăperi din clădiri civile

Denumirea clădirilor și a încăperilor	Iluminarea generală medie minimă cu lămpi:	
	incandescente	fluorescente
A. Hoteluri		
Holul principal	75	200
Portar, recepție	75	300
Camere de dormit	30	—
Salon, cameră de odihnă	50	150
Bucătărie	75	200
Săli de mese	75	200
Băi, spălătorii	50	—
Scări principale	75	200
Scări de serviciu	10	50
B. Locuințe		
Dormitor	30	—
Cameră de zi	50	—
Sufragerie	50	150
Bucătărie	50	200
Spălător comun, băi, duşuri	50	—
C. Spitale, sanatorii		
Camera medicului și cea a surorii de serviciu	50	—
Cabinetele medicilor pentru consultații	100	200
Sala de pansamente și anestezie, săli preparatorii, camere de naștere, sala de autopsie	100	200
Camera de izolare pentru boli infecțioase	50	100
Saloane bolnavi	30	—
Săli de operație	150	—
Camera de sterilizare		
— iluminatul general	50	—
— cîmpul operator	300	300
Laboratoare, încăperea pentru prepararea medicamentelor, încăperea pentru luarea probelor de analiză, cabinete pentru tratamente	150	300
Farmacie	150	300
Sală de radiografie	30	—
D. Cămine, creșe, grădinițe		
Camera de primire și de alăptat	50	150
Camere de joc și hrană	100	200
Cabinetul medicului și cel al infirmierei	100	200
Camera de izolare	75	—
Dormitoare	30	—
E. Școli		
Săli de clasă, amfiteatre, laboratoare, camere de studiu	100—150	300
Săli de desen și lucru manual	200	400
Bibliotecă și sala de lectură	150	300
Sala de gimnastică	75	200

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 6.1.3. (continuare)

Denumirea clădirilor şi a încăperilor	Iluminarea generală medie minimă, cu lămpi:	
	incandescente	fluorescente
F. Biblioteci publice		
Săli de lectură	100	250
Depozite de cărţi	50	—
Săli pentru cataloage şi fişiere	100	200
G. Instalaţii publice şi social-culturale		
Holuri de intrare	50	200
Birouri	75	200
Camere pentru şedinţe	75	200
Contabilitatea, maşini contabile, sala dactilografelor	150	300
Ateliere de proiectare	150	300
Ghişee de bănci C.E.C	150	300
Poştă:		
— Sortarea corespondenţei	75	200
— depozit pachete	30	—
Gări. Oficii P.T.T.R.:		
— săli de aşteptare	50	150
— holuri cu ghişee	150	300
— primirea bagajelor	75	200
— păstrarea bagajelor	30	—
— birouri de exploatare	75	200
Teatre, cinematografe, case de cultură, cluburi:		
— săli de spectacol	50	200
— săli de cinema	30	150
— săli de conferinţe	100	200
— cercuri de studii radio, foto	100	20
— foaiere	100	200
Muzee, expoziţii.	150	300

La iluminatul fluorescent, apare efectul stroboscopic, care dă o percepere vizuală ,aparentă imobilă (sau ca o serie de imagini imobile) a obiectelor ce se mişcă sau se schimbă cu o frecvenţă ce reprezintă un multiplu al frecvenţei oscilaţiilor luminii în tub. Pentru a nu da naştere la accidente (mai ales la maşini cu piese în rotaţie), efectul stroboscopic se combate fie prin legarea lămpilor după schema fazei decalate, fie prin legarea lor pe cele trei faze ale reţelei trifazice (fig. 6.1.4. *a*, *b*). Condensatorul C_2 serveşte pentru decalarea fazei în circuitul unei lămpi faţă de cealaltă, compensează decalajul produs de bobina L_2 şi înlătură perturbaţiile pe care le pot produce descărcările în lămpi.

Fluxul luminos al lămpilor fluorescente scade cu scăderea temperaturii.

Lampa cu vapori de mercur de înaltă presiune cu balon fluorescent (fig. 6.1.5) se caracterizează prin existenţa soclului normal (identic cu cel al lămpilor cu incandescenţă), culoarea luminii suficient de albă, eficienţa şi durata bune.

Scanned with OKEN Scanner

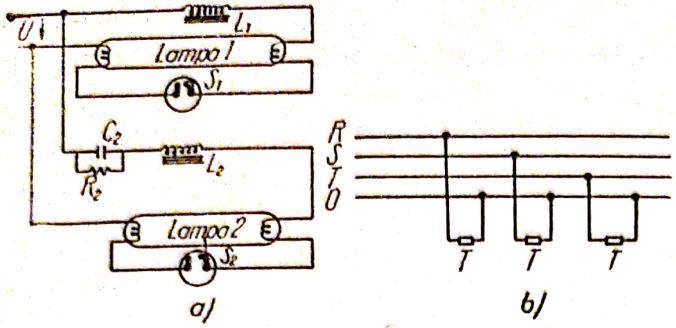


Fig. 6.1.4. Combaterea efectului stroboscopic:
a — metoda fazei decalate; *b* — legarea pe cele trei faze, decalate între ele cu cîte 120°, ale unui sistem trifazat; T_1, T_2, T_3 — lămpi fluorescente.

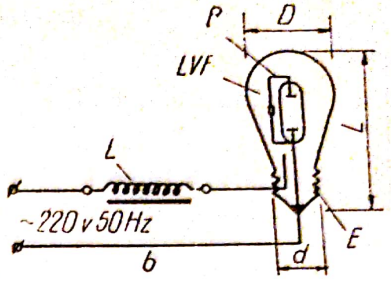


Fig. 6.1.5. Schema de montaj a lămpilor fluorescente, format balon, cu vapori de mercur de înaltă tensiune:
L — balast; *B* — balon; *L* — lungimea lămpii; *D* — diametrul balonului; *d* — diametrul maxim al gîtului balonului; *E* — soclu.

e) Lămpile cu luminiscență cu vapori de sodiu emit o lumină galbenă, ajungînd la regimul normal după 10—15 minute de la aprindere, cînd au eficiență luminoasă ridicată. Se pot folosi cu succes la luminarea spațiilor întinse a șoselelor.

d) Corpuri de iluminat. Utilizarea directă a lămpilor electrice este nesatisfăcătoare, din cauza repartiției neraționale a fluxului luminos și a posibilității existenței unor puncte cu strălucire intensă, dăunătoare vederii directe.

Pentru înlăturarea acestor inconveniente se folosesc corpuri (aparate) de iluminat care sînt dispozitive de fixare, protejare și alimentare cu energie electrică a lămpilor. Ele schimbă curba fotometrică polară a lămpii, redistribuind fluxul luminos după necesitățile iluminatului.

Curba fotometrică polară arată repartiția fluxului luminos radiat de corpul de iluminat, într-un plan vertical care trece prin centrul corpului, constituind caracteristica lor principală, în funcție de care se pot clasifica (fig. 6.1.6).

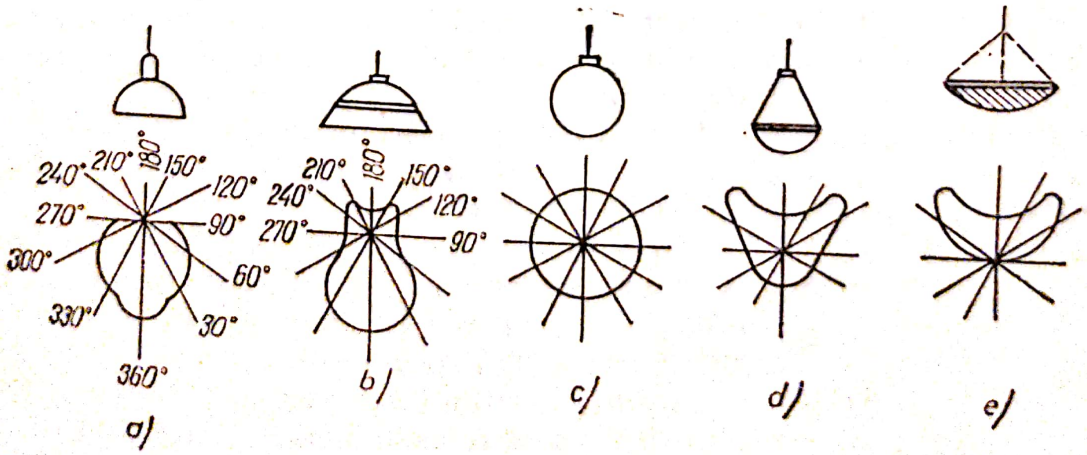


Fig. 6.1.6. Clasificarea corpurilor de iluminat după curbele fotometrice:
a — cu repartiție directă; *b* — semidirectă; *C* — mixtă (difuză); *d* — semiindirectă; *e* — indirectă.

Tabela 6.1.4.

Iluminări minime, după destinaţia încăperilor

Denumirea încăperii	Iluminarea	Denumirea încăperii	Iluminarea
A. Locuinţe şi birouri.		*C.* Industrie	
Coridoare	10—20	Ateliere de turnătorii, forje, sudură	40—60
Holuri	35—40	Ateliere de tîmplărie	50—60
Sală de mese	50—60	Ateliere mecanice	50—60
Dormitor	30—50	Ateliere de precizie	80—100
Birou, bibliotecă	60—80	Ateliere de ceasornicărie	120—150
Bucătărie, cantină, bufet	40—50	Fabrici de ciment	30—50
Sală de desen	100—120	Imprimerii	80—100
B. Şcoli şi spitale		Industrii textile	60—80
Sală de clasă, amfiteatru	75	Tăbăcării	20—40
Bibliotecă, sală de lectură	50	Secţii de compresoare, pompe, cazane (în faţa cazanelor)	20
Sală de operaţie medicală	80—100	Secţii de cazane, betoniere, malaxoare, valţuri alergătoare, mori	10
Masă de operaţie medicală	200—400		
Săli de duş, lavabouri, closete, vestiare	15	Autogaraje, depouri de locomotive electrice	10

O altă clasificare se poate face după valoarea unghiului în care se emite fluxul luminos (tab. 6.1.1).

Corpurile de iluminat cu lumină directă şi semidirectă se mai caracterizează prin unghiul de protecţie (fig. 6.1.7) care arată modul în care corpul protejează ochii observatorului contra razelor de lumină directe ale sursei de lumină.

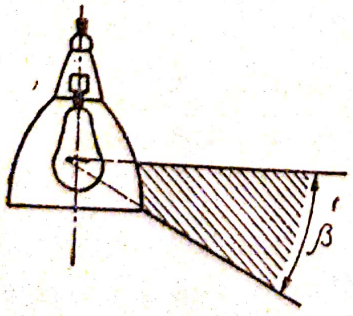


Fig. 6.1.7. Unghiul de protecţie al corpului de iluminat (β)

După protecţia faţă de mediul ambiant, corpurile de iluminat sînt; protejate; ermetice; protejate contra exploziilor.

După modul, de fixare, corpurile de iluminat pentru interior pot fi suspendate de cîrligul de tavan prin cordon sau tije cu niplu şi corpuri care se fixează pe perete, drept sau oblic.

Corpurile de iluminat pentru exterior se fixează pe stîlpi sau se suspendă pe fire susţinute de stîlpi.

Cînd în apropierea locului de muncă nu se pot monta corpuri de iluminat, se montează la distanţă

Norme de iluminare pentru lucrările de pe şantierele de construcţii în aer liber *Tabela 6.1.5.*

Nr. crt.	Destinaţia iluminatului	Iluminarea minimă		Indicaţii de calcul
		orizontală	verticală	
1	Lucrări de terasamente			Coeficienţi medii de reflexie:
	a. Lucrări manuale şi de încărcare pentru pămînt cu coeficientul de reflexie:			— nisip galben uscat 0,31 — nisip galben umed 0,18 — pămînt argilos uscat 0,15 — pămînt argilos umed 0,08 — cernoziom uscat 0,07 — cernoziom umed 0,05
	— mai mic de 15%	1	3	
	— peste 15%	0,5	1,5	
	b. Exploatarea mecanică şi încărcarea (escavatoare, screpere) pentru pămînt cu coeficientul de reflexie:			
	— sub 15%	3	10	
	— peste 15%	1,5	5	
2	Lucrări de beton			Zăpadă proaspătă pînă la 0,78 Zid de cărămidă 0,15— 0,2 Ziduri tencuite (nevopsite) 0,25—0,3
	a. Procese mecanizate ale lucrărilor de beton (concasoare de pietriş, betoniere, aparate de sortare)	5	15	
	b. Alte procese mecanizate	1	3	
3	Tasarea drumurilor betonate			
	— manuală	0,15	1,5	
	— cu tăvălug mecanic	1,5	5	
4	Lucrări de zidărie			
	a. Aşezarea manuală a cărămizilor	2	5	
	b. Procese mecanizate (malaxoare maşini pentru curăţirea cărămizilor)	10	—	
5	Lucrări de armătură			Normate din două părţi
	a. Lucrări pentru confecţionarea şi montarea construcţiilor din oţel (instalarea, bulonarea, nituirea şi sudarea)	8	15	
	b. Pregătirea armăturii metalice pentru beton armat	8	15	
6	Transport mecanizat (elevator, tansportor)	2	5	

Scanned with OKEN Scanner

proiectare, care sînt de două tipuri: cu acţiune îndepărtată, cu fascicol luminos concentrat, care luminează suprafeţe mici; de suprafaţă, cu fascicol luminos deschis, care luminează suprafeţe mari.

6.1.3. Sisteme şi tipuri de iluminat

6.1.3.1. *Sistemele de iluminat,* în funcţie de modul de distribuire a fluxului luminos, sînt următoarele:

a) iluminatul direct, în care fluxul luminos este dirijat asupra planului de lucru (fig. 6.1.8.) are umbre şi contraste puternice, fiind nepotrivit în săli de desen şi pentru lucrări de precizie.

b) iluminatul indirect, în care cel puţin 90% din flux este dirijat spre pereţi şi tavan, de unde se reflectă spre suprafaţa utilă (fig. 6.1.11. b); se realizează cu corpuri de iluminat cu lumină indirectă, obţinîndu-se o lumină difuză, fără umbre, agreabilă, potrivită în săli de desen, muzee, holuri de teatru; sistemul este mai scump, deoarece necesită lămpi de putere mai mare, o parte din flux fiind absorbit de suprafeţele de reflexie.

c) iluminatul mixt, este o combinaţie a celor două sisteme precedente, fiind realizat de corpuri cu repartiţie difuză şi semiindirectă.

6.1.3.2. *Sistemele de iluminat,* după poziţia corpurilor de iluminat faţă de locul de iluminat, sînt următoarele:

a) iluminat general, cînd se asigură iluminarea întregii suprafeţe;

b) iluminatul local, cînd corpul de iluminat este aşezat în apropierea locului de lucru.

c) iluminatul mixt, rezultat din primele două

6.1.3.3. *Tipurile de iluminat,* după destinaţie, sînt următoarele:

a) iluminatul interior, destinat iluminării încăperilor a lucru a clădirilor civile, industriale şi agricole;

b) iluminatul exterior, destinat să ilumineze suprafeţe de lucru sau de circulaţie în aer liber.

c) iluminatul de siguranţă, la care deosebim următoarele cazuri:

1. *Iluminatul de siguranţă* pentru continuarea lucrului (de avarie) care se prevede în încăperi în care pot surveni accidente, incendii şi avarii, în

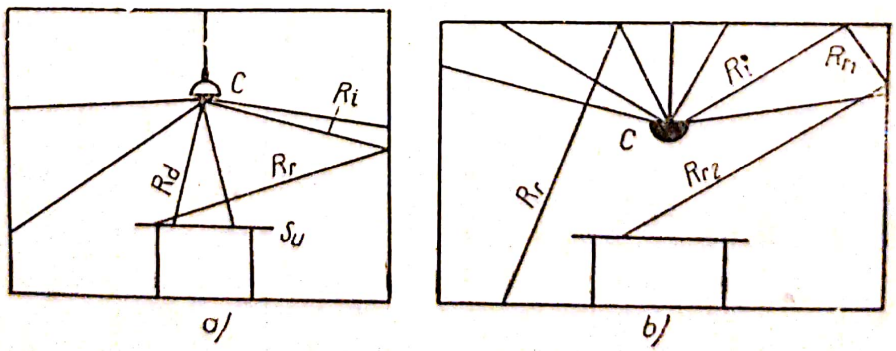


Fig. 6.1.8.

a — iluminatul direct; *b* — iluminatul indirect; R_d — rază directă; R_i — rază incidentă; R_r — rază reflectată; R_{r1} — rază reflectată o dată; R_{r2} — rază reflectată de două ori; *C* — corp de iluminat; $S_u(P_L)$ — suprafaţa utilă (plan de lucru, suprafaţa iluminată).

Tabela 6.1.6.

Valorile de iluminare indicate pentru exterior

Denumirea locului care urmează a fi iluminat	Intensitatea luminoasă minimă, pentru iluminat	
	general	local
Spații circulate în cuprinsul șantierului	2	—
Drumuri în cuprinsul șantierului având o circulație redusă	1.....2	—
Idem, având o circulație intensă	2.....3	—
Locuri de trecere, pasarele, scări		
— cu circulație redusă	3	—
— cu circulație mare	5	—
Porți de intrare la șantiere	5	—
Cabine de portar	6.....10	—
Iluminatul în lungul împrejmuirilor și la intrările secundare	0,5....1	—
Iluminatul de pază al obiectelor speciale	3	—
Iluminatul de siguranță al punctelor periculoase	3	—
Manipulări de materiale în cuprinsul șantierului	—	5
Schele de lucru	5.....10	—
Lucrări de terasamente executate manual	—	8
Idem executate mecanizat	—	10
Baterea piloților	—	10
Lucrări de zidărie	—	15
Lucrări de betoane	—	15
Lucrări de tencuieli	—	18
Lucrări de izolații	—	25....40
Lucrări de fasonare și montarea armăturii	—	25
Lucrări de dulgherie, șarpante, cofraje	—	25....40
Construcții metalice	—	30....40
Lucrări de pardoseli	—	35....40
Lucrări de vopsitorie	—	35....40
Lucrări de instalații	—	35....40
Lucrări de tinichigerie pe acoperiș	—	35
Ateliere provizorii de șantier în spații închise	—	50....70

Tabela 6.1.7.

Iluminatul interior

Denumirea încăperii și locurilor de muncă	W/m²
Încăperi administrative, birouri, săli de lectură	5—18
Ateliere pentru prepararea betonului și a mortarului, pentru sfărîmarea pietrei etc.	8
Ateliere de beton armat	15
Ateliere de tîmplărie, lăcătușărie, strungărie	20
Ateliere mecanice	9—15
Casa pompelor și compensoarelor	5—8
Centrale electrice și posturi de transformare	6,5—10
Săli de cazane	5—8
Garaje auto	8—10
Dușuri, băi, spălătorii, WC-uri	10
Depozite închise	3—5

Scanned with OKEN Scanner

caz de rămînere în întuneric, dacă instalaţiile nu sînt scoase din funcţie. Reţeaua de iluminat de avarie este separată de cea a iluminatului normal, fiind alimentată de la o sursă de energie independentă, care poate fi o baterie de acumulatoare centrală, locală (lumino-bloc), sau un grup electrogen, şi care intră automat în funcţie, la întreruperea reţelei normale. Nu se admite racordarea altor receptoare la reţeaua de avarie, iar corpurile de iluminat de siguranţă sînt marcate, spre a se deosebi de cele normale.

2. *Iluminatul de siguranţă* pentru evacuare (de panică), prevăzut la ieşirea din sălile în care se pot afla mai mult de 100 persoane, în încăperile de trecere, pe coridoare, pe scări şi la ieşirile care servesc la evacuarea a mai mult de 50 persoane. E prevăzut cu cel puţin două lămpi clare, alimentate separat, care se aprind automat la întreruperea alimentării tabloului de distribuţie a sălii (fig. 1.6.30). În lipsa unei surse independente, circuitul iluminatului de panică se racordează imediat după branşament, înaintea întrerupătorului general.

3. Iluminatul de pază (caz particular al iluminatului de siguranţă), este destinat pentru securitatea clădirilor şi terenurilor; trebuind să funcţioneze şi în caz de avarie a iluminatului normal, alimentarea lui se face prin circuite separate. Comandarea se face din locuri unde au acces numai persoane calificate.

6.1.3.4. *Condiţiile iluminării raţionale.* Pentru o iluminare raţională din punct de vedere al cantităţii şi calităţii luminii, trebuie satisfăcute următoarele condiţii

— alegerea nivelului de iluminare să se facă în conformitate cu cerinţele impuse de destinaţia spaţiului iluminat. Valoarea iluminării medii indicată în tabele reprezintă nivelul minim de iluminare ce se consideră în calcul pentru determinarea fluxului necesar. Nivelul de iluminare realizat, în urma determinării şi distribuirii surselor de iluminat, nu trebuie să depăşească treapta imediat superioară din scara iluminărilor, faţă de nivelul de calcul. Iluminarea de calcul, se determină înmulţind valoarea aleasă din tabele cu factorul de depreciere k, prin care se ţine seama de factorii permanenţi care produc scăderea iluminării, cu trecerea timpului (scăderea fluxului luminos al lămpilor spre sfîrşitul duratei de funcţionare, murdărirea corpului de iluminat şi scăderea randamentului său, prin îmbătrînire, murdărirea şi degradarea pereţilor şi tavanelor).

— iluminarea să fie uniformă, fără zone prea pronunţate de lumină şi umbră şi să nu producă efecte de orbire.

Coeficientul de uniformitate k_u, este dat de raportul dintre iluminările diferite a două suprafeţe învecinate, una fiind considerată minimă (E_{min}) şi cealaltă maximă (E_{max})

$$k_u = \frac{E_{min}}{E_{max}} \qquad (6.1.5.)$$

Valorile coeficienţilor de uniformitate sînt date în tabele, în funcţie de destinaţia clădirilor iluminate.

Scanned with OKEN Scanner

Orbirea este o stare a vederii în care se încearcă fie o senzație de jenă (orbirea psihologică), fie o reducere a aptitudinii de a distruge obiectele (orbire fiziologică), fie amîndouă simultan, în urma unei repartiții defavorabile a strălucirilor sau a eșalonării lor între două valori extreme prea diferite, sau în urma unor contraste excesive în spațiu și timp. Orbirea directă, provocată de fluxul luminos direct al surselor de lumină, se limitează prin folosirea corpurilor de iluminat și surselor luminoase cu caracteristici corespunzătoare destinației și geometriei încăperilor.

Orbirea prin reflexie, cauzată de suprafețele reflectante care se află în planul de lucru, se limitează evitînd prezența în planul de lucru a suprafețelor cu coeficient ridicat de reflexie sau limitînd iluminările prea puternice, prin alegerea surselor luminoase în raport cu locul de muncă.

Orbirea indirectă sau prin contrast, cauzată de diferențele mari dintre gradul de reflexie al suprafețelor predominante din spațiul respectiv (plafon, pereți, pardoseli, mobilier, utilaj, etc), se limitează fie prin realizarea unor coeficienți de reflexie, conform tabelei 6.1.8 fie prin iluminarea corespunzătoare a plafonului, folosind corpuri de iluminat care dirijează spre tavan 10% din flux (încăperi în care se efectuează lucrări de mare precizie);

— lumina să aibă o nuanță cît mai aproape de lumina de zi (surse cu lumină cît mai albă, suprafețe cu o culoare cît mai deschisă), iar obiectele și suprafețele utile din cîmpul vizual să fie bine iluminate, pentru a se distinge clar și fără eforturi culoarea și detaliile necesare;

— pentru realizarea unei iluminări optime, la alegerea și amplasarea lămpilor și a corpurilor de iluminat, se mai ține seama de următoarele criterii.

Iluminatul incandescent se preferă cînd se cer iluminări mici (sub 100 lx), la iluminări locale sau generale care nu se pot realiza cu lămpi fluorescente, în încăperi unde nu se lucrează continuu (vestiare, spălătoare), în încăperi auxiliare (depozite, magazii, etc), în iluminatul de siguranță (pentru realizarea instantanee a lui), etc.

Tabela 6.1.8

Valorile aproximative ale factorilor de reflexie ai pereților și tavanelor

Suprafață de reflexie	Factorul de reflexie %
Tavan văruit, pereți văruiți și ferestre acoperite cu storuri albe	70
Tavan din beton curat sau tavan din lemn de culoare deschisă, tavan văruit în încăperi umede, pereți văruiți, fără perdele la ferestre, neacoperite	50
Tavan din beton în încăperi murdare, tavan din lemn, pereți din beton cu ferestre, pereți cu tapet de culoare deschisă	30
Tavan și pereți din beton și lemn în încăperi cu mult praf negru, ferestre într-un singur geam fără storuri, cărămidă roșie netencuită	10

Scanned with OKEN Scanner

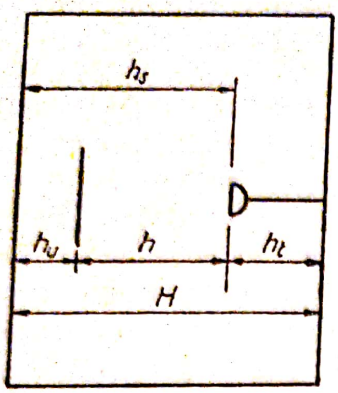


Fig. 6.1.9. Cotele de amplasare a corpului de iluminat în plan vertical:
H — înălţimea încăperii; h_t — distanţa corpului de iluminat de la tavan (0,3—0,7 — 1,5 m; în atelierele cu macarale, $h_t = 0$); h_s — înălţimea de suspendare, de la corpul de iluminat la pardoseală; h_u — înălţimea utilă a suprafeţei utile de la pardoseală (în iluminatul interior se ia 1 m); h — înălţimea teoretică de la suprafaţa utilă la corpul de iluminat.

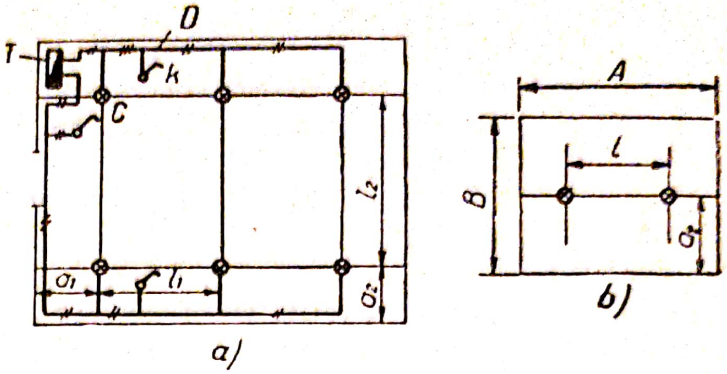


Fig. 6.1.10. Aşezarea corpurilor de iluminat în plan orizontal:
a — pe două rînduri; *b* — pe un rînd; *B* — branşament; *T* — tablou de distribuţie; *C* — corp de iluminat; *k* — întrerupător; *D* — reţea de distribuţie; *A*, *B*, — dimensiunile suprafeţei încăperii iluminate (lungime, lăţime).

Iluminatul fluorescent cu lămpi tubulare de joasă presiune se recomandă la munca în mai multe schimburi, la nivele de iluminare mari, cînd se cere o calitate deosebită a iluminatului, etc.

Iluminatul fluorescent cu lămpi de presiune ridicată, se foloseşte în hale înalte şi în spaţii exterioare.

Iluminatul incandescent cu reflectoare, se foloseşte în spaţii exterioare sau la punctele de muncă inaccesibile.

6.1.4. Proiectarea instalaţiilor de iluminat.

6.1.4.1. *Principii generale.* La proiectarea instalaţiilor de iluminat, se disting următoarele etape principale: se studiază utilajul şi procesul de producţie, în vederea alegerii sistemului de distribuţie şi a aparatajului. La iluminat, se stabileşte destinaţia spaţiului de iluminat; se aleg sistemele şi tipurile de iluminare, se stabilesc iluminările conform normelor şi se aleg aparatele de comandă de protecţie, lămpile şi corpurile de iluminat; se stabilesc dimensiunile spaţiului iluminat (cote, suprafeţe); se stabilesc cotele care determină amplasarea corpului de iluminat în plan vertical (fig. 6.1.9) avîndu-se în vedere că înălţimea de suspendare minimă nu trebuie să fie mai mică decît cea admisă după condiţiile de orbire, determinate de unghiul de protecţie; se face amplasarea corpurilor de iluminat în plan orizontal, pe unul sau mai multe rînduri (fig. 6.1.10). Distanţele a_1, a_2 de la pereţi se iau de 1/3 din l_1, l_2, dacă se lucrează în apropierea pereţilor şi de 1/2 din l_1, l_2 cînd nu se lucrează; se efectuează calculul iluminatului, care

permite să se determine puterea lămpilor; se amplasează tablourile de distribuție și aparatele de comandă și se trasează rețeaua de distribuție; se face calculul electric al rețelei de distribuție; se face extrasul de materiale; se întocmește memoriul și devizul lucrării.

6.1.4.2. *Calculul iluminatului interior. a) Metoda puterii specifice*, este o metodă de apreciere și constă în determinarea puterii specifice w, în W/m^2, a suprafeței utile S, după iluminarea cerută și tipul corpului de iluminat

$$w = \frac{P}{S} \qquad \left[\frac{W}{m^2}\right] \tag{6.1.6}$$

unde P este puterea tuturor lămpilor în W. În practică, se alege puterea specifică w, din tabele și cunoscînd suprafața S în m^2, se determină puterea totală necesară

$$P = w \cdot s \qquad [W] \tag{6.1.7}$$

Dacă este fixat numărul n al corpurilor de iluminat, puterea unei lămpi se determină cu relația

$$P_b = \frac{P}{n} \qquad [W] \tag{6.1.8}$$

apoi din tabele se alege lampa cu puterea proximă.

Se poate proceda și invers, alegînd puterea unei lămpi și determinînd numărul de lămpi

$$n = \frac{P}{P_b} \tag{6.1.9.}$$

Fiind rapidă, metoda este potrivită la sarcinile de proiectare.

a) Metoda factorului de utilizare permite să se determine puterea electrică necesară pentru realizarea unei iluminări orizontale medii, ca rezultat al acțiunii simultane a fluxului luminos direct (Φ_d) și a fluxului reflectat (Φ_r), a căror sumă constitue fluxul util Φ_u, din fluxul luminos total Φ_l.

Factorul de utilizare al unei instalații electrice este dat de raportul

$$u = \frac{\Phi_d + \Phi_r}{\Phi_l} = \frac{\Phi_u}{n\Phi_b} = \frac{ESk}{n\Phi_b z} \tag{6.1.10.}$$

unde avem: n — numărul de lămpi; Φ_b — fluxul unei lămpi (lm); E — iluminarea minimă, dată în tabele (lx); S — suprafața pardoselii încăperii (m^2); k — factorul de depreciere; z — E_{min}/E_{med}, coeficient de corecție, dat de raportul dintre iluminarea minimă și cea medie, prin care se ține seama că în normele de iluminare se dau valorile iluminării minime (pentru corpurile de iluminat cu lumină directă și semireflectată se ia $z = 0{,}8 - - - 0{,}9$, iar pentru cele cu lumină reflectată, se ia $z = 1$).

Scanned with OKEN Scanner

Indicele încăperii i, este dat de relaţia

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{S}{h(A+B)} \qquad (6.1.11.)$$

unde A, B (m) sînt dimensiunile suprafeţei S (m²) a încăperii, iar h(m) este înălţimea teoretică.

Coeficientul de utilizare, u se determină din tabele, pentru tipul de corp de iluminat ales, în funcţie de coeficientul de reflexie ρ_p al pereţilor, ρ_t a tavanului şi de indicele încăperii i.

În practică, relaţia (6.1.10) se foloseşte pentru a determina fluxul unei lămpi, care permite să se afle puterea lămpii, necesară la obţinerea iluminării alese

$$\Phi_b = \frac{ESk}{unz} \qquad [\text{lm}] \qquad (6.1.12.)$$

Relaţia poate fi folosită şi la determinarea iluminării, avînd numărul şi puterea lămpilor

$$E = \frac{n\Phi_b uz}{Sk} \qquad [\text{lx}] \qquad (6.1.13.)$$

6.1.4.3. *Calculul iluminatului exterior.* *a) Metoda curbelor iluminării relative,* permite să se efectueze calcule de iluminat expeditive, cu ajutorul formulei

$$\sum \varepsilon = \frac{1000Eh^2k}{\Phi_b} \qquad (6.1.14)$$

în care avem : ε — iluminarea relativă pentru un corp de iluminat suspendat la înălţimea de 1 m şi pentru fluxul luminos de 1000 lm; E — iluminarea minimă orizontală a terenului, în lx; Φ_b — fluxul luminos al lămpii, în lm; $k = 1{,}3$ — factorul de depreciere pentru instalaţii exterioare.

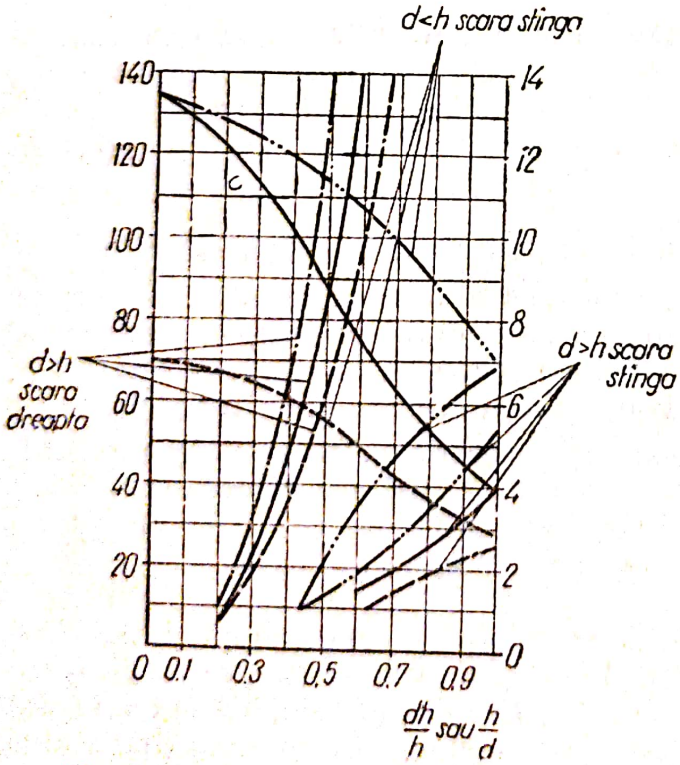


Fig. 6.1.11. Curbele iluminării relative : — corp de iluminat pentru exterior cu sticlă transparentă; – – – idem, cu sticlă opală; —·— idem, cu sticlă tip saci; —··— reflector în lăţime cu oglindă, pînă la 200 W.

După aflarea lui ε, din curbele iluminării relative (fig. 6.1.11) se află valorile d/h sau h/d, unde d(m) este distanţa punctului de calcul A, faţă de sursa luminoasă (fig. 6.1.12). Din aceste rapoarte, cunoscînd una din mărimi, se calculează cealaltă :

$$\varepsilon_1 = \frac{d}{h}\,;\; d = h\varepsilon_1;\; \varepsilon_2 = \frac{h}{d}\,;\; h = d\varepsilon_2 \qquad (6.1.15.)$$

Scanned with OKEN Scanner

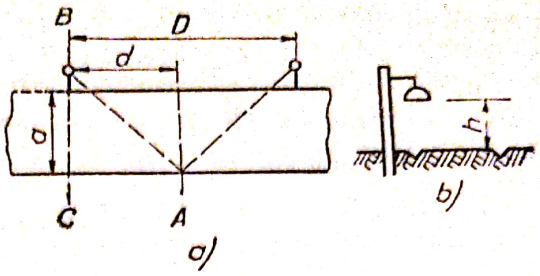


Fig. 6.1.12. Iluminatul electric al unui drum de acces, prin metoda curbelor iluminării relative:
a — vedere în plan; *b* — secțiune transversală *BC*.

Distanța dintre două corpuri de iluminat se calculează cu relația

$$D = 2\sqrt{a^2 + b^2} \qquad [\text{m}] \tag{6.1.16.}$$

în care distanțele a și d rezultă din figura 6.1.34.

b) Metoda de calcul punct cu punct (metoda componentei directe a iluminării, folosită și la calculul iluminatului interior al încăperilor cu dimensiuni mari), permite determinarea iluminării într-un punct A, cînd se cunoaște fluxul lămpilor și poziția corpului de iluminat (fig. 6.1.13).

Fluxul luminos elementar pe suprafața elementară dS, este

$$\mathrm{d}\Phi = I\mathrm{d}w = I\frac{\mathrm{d}S\cos\beta}{r^2} \tag{6.1.17.}$$

unde I este intensitatea sursei pe direcția LA.

Iluminarea suprafeței este dată de relația

$$E = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}S} = \frac{I\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}S} = \frac{I\cos\beta}{r^2} \tag{6.1.18.}$$

Pentru $\beta = 0$, avem

$$E = \frac{I}{r^2} \tag{6.1.19.}$$

Ținînd seama de relația $r \cdot \cos\beta = h$, și introducînd în calcul valoarea factorului de depreciere, rezultă iluminarea

$$E = \frac{I\cos^2\beta}{hh^2} \qquad \left[1\text{x} = \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}\right]. \tag{6.1.20}$$

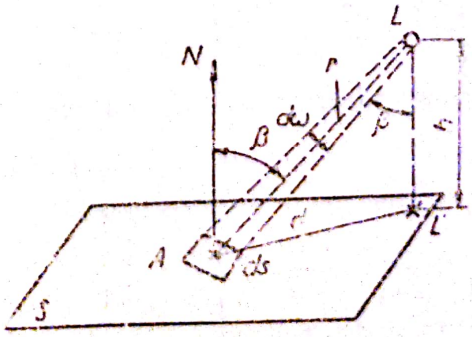


Fig. 6.1.13. Calculul iluminării unui punct de pe o suprafață, cu ajutorul unei singure surse:
S — suprafața iluminată; *A* — punctul considerat pe o suprafață; d*S* — suprafața elementară în jurul punctului *A*; *L* — sursa luminoasă; *L'*φ — proiecția ortogonală a sursei pe suprafața *S*; *d* — distanța de la punct la proiecția sursei; *N* — normala de suprafață în punctul *A*; β — unghiul format de fascicolul de lumină cu normala *N*; dω — unghiul solid al fascicolului de lumină; *h* — înălțimea sursei de la suprafața iluminată; *r* — distanța de la sursă la punct.

Dacă iluminarea punctului A provine de la mai multe surse, se calculează iluminările pentru fiecare sursă şi prin adunarea lor, rezultă iluminarea totală. Valorile intensităţii luminoase se iau din tabele.

Pentru lămpile cu fluxul luminos diferit de 1000 lm, intensitatea luminoasă se calculează cu formula

$$I = I_{1000} \frac{\Phi_b}{1000} \qquad (6.1.21.)$$

unde I_{1000} este intensitatea luminoasă , iar Φ_b este fluxul luminos al lămpii folosite.

Metoda descrisă se poate folosi la calculul iluminării cu corpuri montate pe stîlpi şi al iluminării suprafeţelor verticale.

c) Metoda coeficientului de utilizare, descrisă anterior, se poate folosi şi la calculul iluminatului exterior, general sau local. În acest caz, corpurile de iluminat se suspendă pe cabluri susţinute de stîlpi (fig. 6.1.14).

d) Iluminatul cu proiectare de suprafaţă, se foloseşte la iluminarea suprafeţelor mari sau inaccesibile pentru o iluminare obişnuită, fiind, în general mai economic decît acesta, avînd totodată calitatea de a îmbina iluminarea orizontală cu cea verticală. Ca dezavantaje se citează efectul puternic de orbire şi dificultatea înlăturării umbrelor.

Caracteristica principală a proiectoarelor este valoarea intensităţii luminoase maxime I_{max}, care determină raza de acţiune pînă la care proiectorul poate asigura nivelul de iluminare cerut.

La iluminarea cu proiectoare se ţine seama de: alegerea iluminării; alegerea puterii lămpii; determinarea unghiului optim de înclinare a axei optice a proiectorului: factorul de depreciere ($k = 1{,}3$); amplasarea pilonilor de montare a proiectoarelor; înălţimea de aşezare a proiectorului pentru ca efectul de orbire să fie minim, este dată de relaţia

$$H_p = \sqrt{\frac{I_{max}}{300}} \text{ [m]}. \qquad (6.1.22.)$$

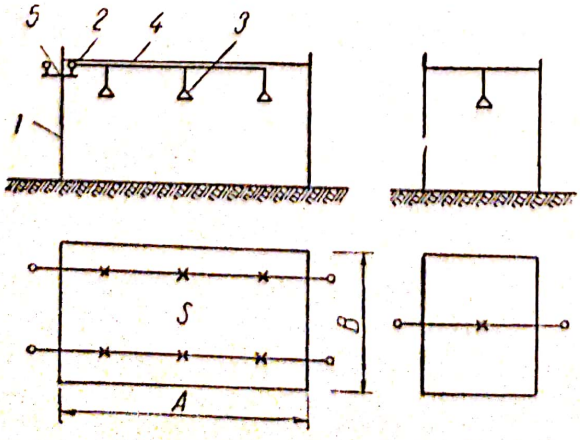


Fig. 6.1.14. Iluminatul cu corpuri suspendate:

1 — stîlp de susţinere; *2* — cablu de suspensie; *3* — corp de iluminat; *4* — cablu electric; *5* — traversă cu izolatoare; *S* — suprafaţa de iluminat; *A*, *B* — dimensiunile suprafeţei.

Scanned with OKEN Scanner

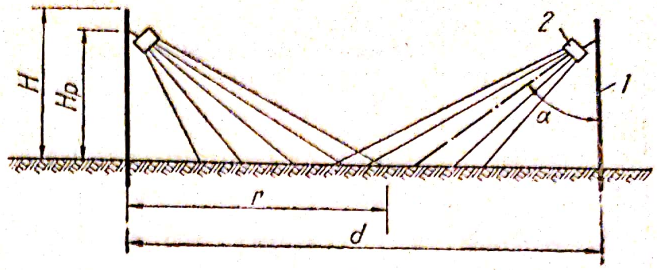


Fig. 6.1.15. Iluminatul cu proiectare: *1* – pilon de susținere; *2* – proiector; H_p – înălțimea de așezare a proiectorului; H – înălțimea stîlpului; r – raza de acțiune; d – distanța dintre doi piloni; unghiul de înclinare al axei optice a proiectorului.

Raza de acțiune a proiectorului este în jur de 15 H, astfel că pentru a obține o iluminare uniformă, distanța dintre doi stîlpi se ia de 6—8 ori H stîlpi, unde H stîlp $= (H_p + 1{,}5)$ m (fig. 6.1.15).
Numărul de reflectoare se determină cu relația

$$n = \frac{S\,E\,mk}{\Phi_b\,\eta} \qquad (6.1.23)$$

unde avem: $S(m^2)$ — suprafața de iluminat: $E(lx)$ — iluminarea medie; $k = 1{,}3 \ldots 1{,}4$ — factor de depreciere; Φ_b (lm) — fluxul luminos al lămpii din proiector; $\eta \approx 0{,}6$ — randamentul proiectorului; m — coeficientul de dispersie, care depinde de configurația sectorului; pentru sectoare înguste $m = 1{,}5$, iar pentru suprafețe mari, scade pînă la $m = 1{,}15$.

6.2. INSTALAȚII DE ÎNCĂLZIRE ELECTRICĂ ÎN LUCRĂRILE DE CONSTRUCȚII

6.2.1. **Generalități.** Încălzirea artificială a lucrărilor în construcții se utilizează în timpul iernii, folosind în acest scop apa, vaporii, aerul cald sau electricitatea, ultima metodă fiind în multe cazuri cea mai avantajoasă și mai ușor de realizat.

Cantitatea de căldură degajată este

$$Q = 864\,I^2\,R\,t \quad [\text{k cal}] \qquad (6.2.1.)$$

unde I[A] este intensitatea curentului care străbate rezistența $R[\Omega]$ care urmează să se încălzească în intervalul de timp t [ore], 864 fiind echivalentul caloric al unui kWh de energie electrică. Consumul de energie necesară încălzirii, crește cu scăderea temperaturii mediului ambiant și cu creșterea modulului de suprafață m, al construcției care se încălzește. Valoarea modulului este

$$m = \frac{S}{V} \quad \left[\frac{1}{\text{m}}\right] \qquad (6.2.2.)$$

unde S reprezintă suprafața de răcire a construcției și V volumul ei.

Încălzirea construcției se poate face în două moduri;

— direct, cînd curentul electric trece prin corpul construcției; dezavantajele metodei constau în variația rezistenței clădirii în timpul încălzirii,

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 6.2.1

Instalaţii de încălzire electrică în lucrările de construcţii

Nr. crt.	Felul încălzirii	Utilizare	Caracteristici	Observaţii
0	1	2	3	4
1	Încălzirea construcţiilor din beton armat	La încălzirea betonului armat, în timpul iernii	în medie, pentru m^3 de beton marca 300 sau 400, la m = 5, pentru a se obţine rezistenţa mecanică a betonului de 70%, este necesar un consum de energie de 90—120 kWh, la o putere de cca. 4,5 kW — se aplică la construcţii cu modulul m 5	—pentru menţinerea constantă a curentului de încălzire, se face reglarea tensiunii, prin comutarea înfăşurărilor sau cu transformator reglabil — operaţia de încălzire durează în jur de 24 ore — de obicei, tabloul de comandă şi transformatoarele instalaţiei de încălzire sînt mobile (pe cărucioare).
2	Încălzirea zidăriei de cărămidă	— la încălzirea construcţiilor cu pereţi umezi, la care se fac lucrări de finisare de calitate superioară — cînd ritmul lucrărilor nu permite o uscare naturală — în timpul iernii, pentru obţinerea rezistenţei necesare pînă la dezgheţare şi pentru reducerea deformaţiilor, prin aşezarea cărămizilor, în timpul dezgheţului.	tensiunea folosită în instalaţiile de încălzire este de 220—380 V, pentru micşorarea volumului lucrării şi a consumului de metal — distanţa h dintre două rînduri de electrozi, este de 0,5 m, la 280 V şi 0,35 m, la 220 V. (fig. 6.2.3).	— în timpul încălzirii este bine să se folosească ecrane termoizolante din lemn sau placaj, transportabile, pentru reducerea cu 40—50% a consumului de energie electrică — durata de încălzire pentru atingerea rezistenţei mecanice a mortarului de 20% din rezistenţa mortarului cu priză de 28 zile, este invers proporţională cu temperatură medie de încălzire (de exemplu 19 ore la temperatura de 30°C şi 8 ore la 40°C, la un mortar cu ciment portland.
3	Încălzirea cu radiaţii infraroşii	la încălzirea şi uscarea zidăriei sau a unor materiale de construcţie (de exemplu lemn).	Posibilitatea realizării unei uniformităţi de încălzire, obţinută, în general, prin aşezarea alăturată a izvoarelor de raze infraroşii	Permite să se realizeze o anumită temperatură în interiorul sau la suprafaţa corpului care se usucă sau se încălzeşte.

Taela 6.2.1 (continuare)

0	1	2	3	4
4	Încălzirea solului înghețat	La lucrări care urmează a se efectua în solul înghețat, atunci cînd există energie electrică disponibilă, procedeul fiind, în acest caz, mai ieftin decît alte procedee	Pentru a obține o temperatură a solului de 15 °C, este necesar un consum specific de 30 kWh/1 m³, la o putere de 3,5 kW	Electrozii orizontali se folosesc la încălzirea fundațiilor înghețate pe adîncimi mici, pînă la 0,7 m, iar cei verticali pentru adîncimi mai mari. Încălzirea la adîncimi peste 2 m se face în trepte, îndepărtîndu-se succesiv stratul dezghețat.
5	Încălzirea conductelor de apă înghețate	La dezghețarea conductelor de apă, înghețate, pentru restabilirea circulației apei.	Permite dezghețarea conductelor fără a se executa lucrări de săpare a pămîntului (la încălzirea indirectă.	La încălzirea directă, în lipsa unor piese conductoare, accesibile ale conductei, se sapă puțuri de exploatare.

ceea ce impune folosirea unei tensiuni variabile (spre a menține intensitatea curentului constantă) și în necesitatea intensificării măsurilor de tehnica securității ; este o metodă mai economică și cu randament mai mare

— indirect, cînd pentru încălzire se folosesc elemente termice, pentru încălzirea superficială sau, în cazul includerilor în zidire, pentru încălzirea volumetrică.

— În unele cazuri, se poate lua în considerare și încălzirea cu inducție (pe baza fenomenelor inducției electromagnetice).

Alimentarea dispozitivelor de încălzire se poate face cu ajutorul unei rețele de distribuție de joasă tensiune, a cărei schemă de principiu este dată în figura 6.2.1. Ea are un caracter provizoriu și se execută numai cu conductoare izolate.

6.2.2. **Încălzirea electrică a betonului (tab. 6.2.2 și 6.2.3).** Se folosesc metode de încălzire directă (cu electrozi) și indirectă (cu ajutorul aparatelor de încălzire interioară sau cu cofraje termice).

Pentru încălzire se folosește curent alternativ, deoarece curentul continuu descompune apa din beton prin electroliză, iar componentele rezultante intră în beton.

Pentru a asigura betonului, înainte de a îngheța, rezistența mecanică prescrisă, pentru a-l proteja contra uscării excesive în jurul electrozilor de încălzire și contra fisurării, curentul electric se stabilizează atunci cînd betonul ajunge, la o anumită temperatură (de obicei + 5 °C și maximum 30—70 °C, pentru m = 6 . . . 20).

6.2.3. **Încălzirea electrică a zidăriei de cărămidă (tabelele 6.2.2 și 6.2.3).** Instalația de încălzire se realizează prin introducere în rosturile orizontale

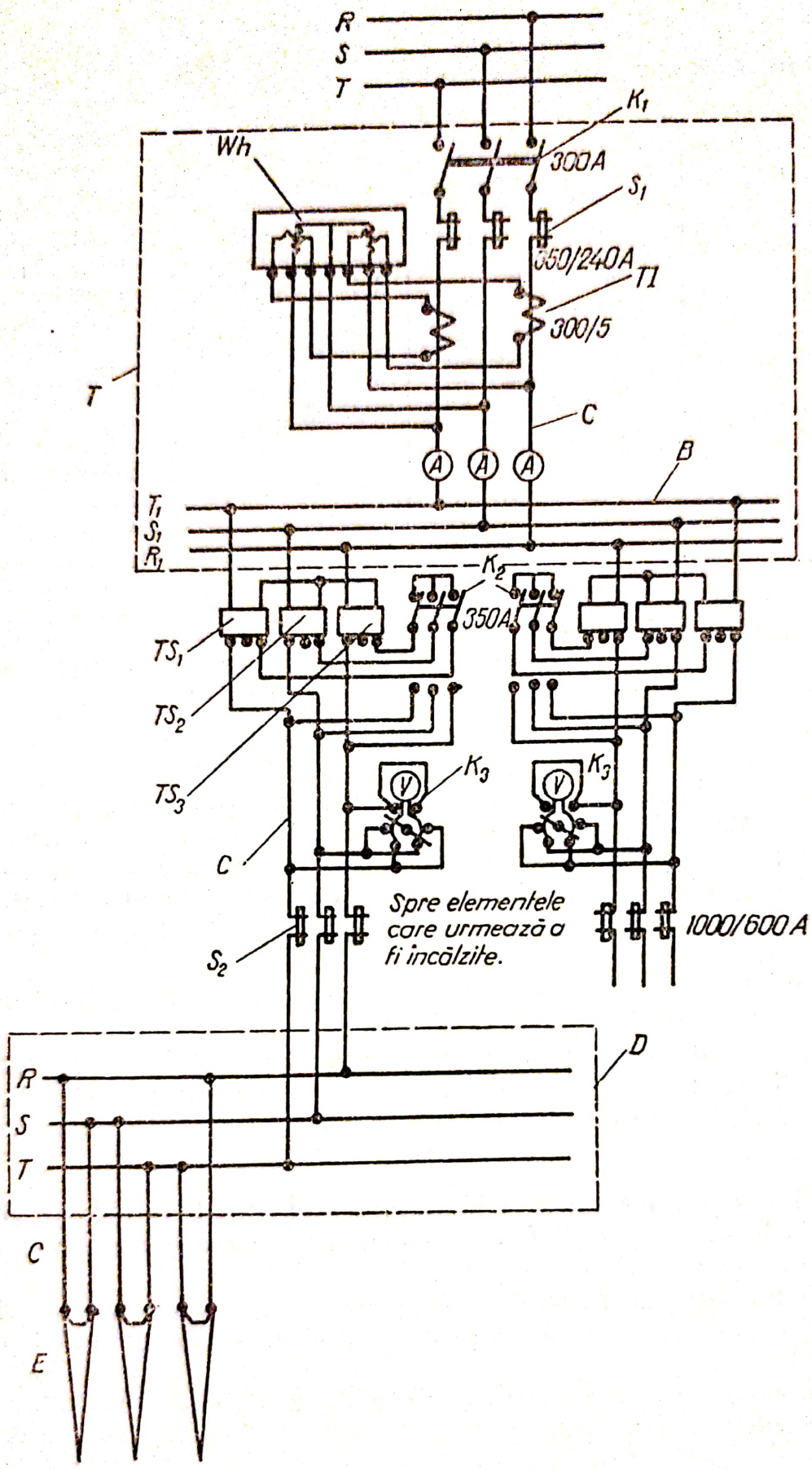


Fig. 6.2.1. Schema de alimentare a instalației de încălzire;

T — tablou de distribuție principal; K_1 — întrerupător cu pîrghie; S_1 — siguranțe; *TI* — transformatoare de măsură de intensitate; *Wh* — contor trifazat cu două elemente active; *A* — ampermetre; *B* — bare de distribuție primară; *RST* — rețeaua de alimentare de joasă tensiune; TS_1, TS_2, TS_3 — transformatoare monofazate coborîtoare, formînd un transformator trifazat de putere (de obicei de sudură); K_2 — comutator stea-triunghi; S_2 — siguranțe pentru protecția în secundar; *V* — voltmetru; K_3 — comutator voltmetric (trifazat); *D* — dispozitiv (tablou) mobil de legare a electrolizilor de încălzire (cu prize trifazate); *E* — electrozi; *C* — conducte izolate.

Scanned with OKEN Scanner

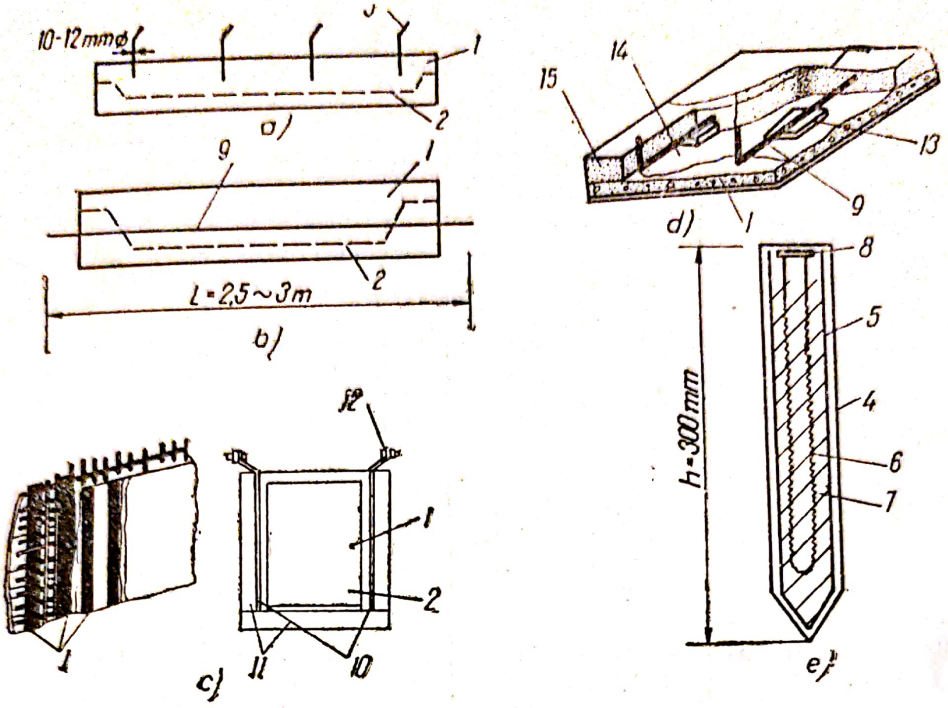


Fig. 6.2.2. Electrozii pentru încălzirea indirectă a betonului:

a — în formă de bară (transversal); *b* — în formă de coardă (longitudinal); *c* — în formă de placă; *d* — cofraj termic; *e* — schița unui electrod-bară; *1* — beton; *2* — armătură; *3* — electrod-bară; *4* — tub de oțel; *5* — garnitură de azbociment; *6* — ceramică; *7* — rezistență electrică de încălzire; *8* — priză; *9* — electrod longitudinal (coardă); *10* — cofraj; *11* — electrozi în formă de plăci; *12* — bornele electrozilor; *13* — cărămidă; *14* — carton asfaltat; *15* — rumeguș umezit cu soluție de *NaCl* pentru mărirea conductivității

nelegate ale zidăriei a unor electrozi din oțel de armătură, a căror extremități libere se leagă între ele. Metoda se poate aplica la zidăria de cărămidă neînghețată, atunci cînd rezistența specifică a mortarului este de așa natură, încît prin el trece un curent suficient pentru încălzire.

Încălzirea directă a zidăriei înghețate se poate face prin metoda directă cu electrozi-bară, numai după dezghețarea ei prealabilă cu elemente de încălzire indirecte (fig. 6.2.4), fixate în rosturile verticale lărgite ale zidăriei,

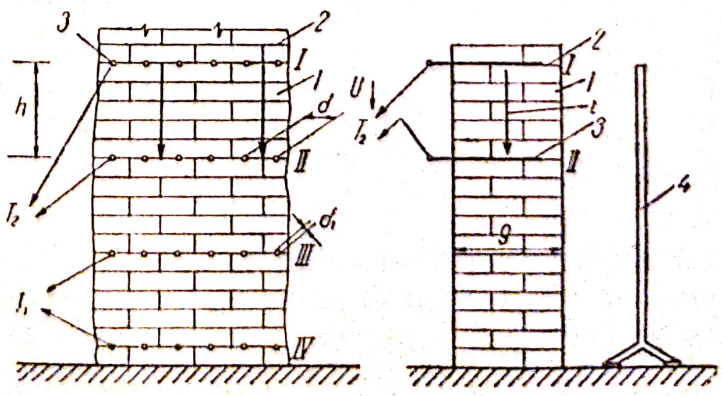


Fig. 6.2.3. Așezarea electrozilor în formă de bară, în zidul de cărămidă, la încălzirea directă:

a — vedere frontală; *b* — vedere laterală; *1* — zid de cărămidă; *2* — rost orizontal; *3* — electrod-bară; *l* — legătură electrică între electrozi (care astfel, sînt legați în paralel între ei); $d \approx 8$ cm — distanța maximă dintre doi electrozi; $d_1 = 6$ mm — diametrul electrozilor; *h* — distanța dintre două rînduri de electrozi (4 — — — 6 rînduri de cărămidă); I, II, III, IV — rînduri de electrozi; *g* — grosimea zidului; T_1, T_2 — legături la tabloul mobil de distribuție; *4* — ecran termoizolant; *i* — curentul prin zidărie, între electrozi, care produce încălzirea; *U* — tensiunea între două rînduri de electrozi.

Tabela 6.2.2

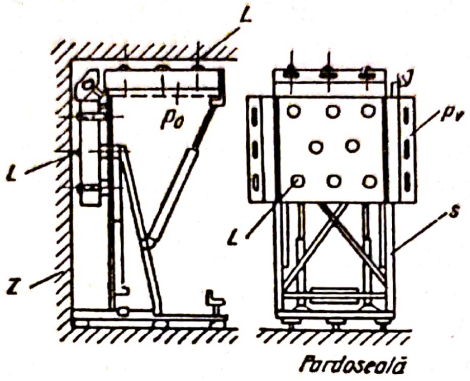
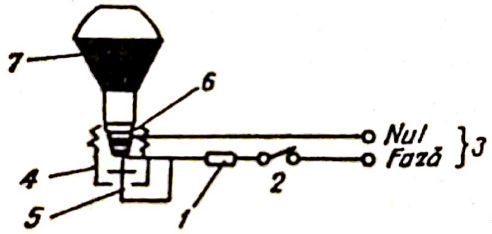
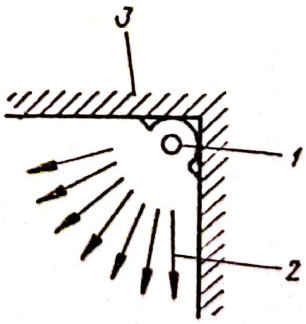
Electrozi şi surse de căldură care se folosesc la încălzirea electrică în lucrările de construcţii

Nr. crt.	Felul încălzirii	Felul electrozilor	Caracteristici	Observaţii
1	Directă	— interiori	— în formă de bare — longitudinali, în formă de coardă.	Electrozii sînt reprezentaţi în figurile 6.2.2. a, b, c, d.
		— de suprafaţă	În formă de: — plăci — bandă — panouri de încălzire	
2	Indirectă	— aparate de încălzire interioară — cofraje termice		
3	Prin radiaţii infraroşii.	— Izvoare de radiaţii infraroşii: — izvoare luminoase cu incandescenţă, care emit radiaţii vizibile şi infraroşii (cu lungimea de undă $\lambda = 0{,}5 \ldots 0{,}2\mu$) — izvoare întunecate, care emit numai radiaţii infraroşii (cu $\lambda = 3 \ldots 8\ \mu$).	În funcţie de reflectorul care reflectă radiaţiile infraroşii, sursele (aparatele) de radiaţii sînt: — cu reflector interior, cînd izvorul şi reflectorul alcătuiesc o singură construcţie (construcţie folosită la izvoarele luminoase — cu reflector exterior, la care izvorul şi reflectorul sînt separate (se folosesc la izvoarele întunecate) Consumul mediu specific, de energie pe timp de iarnă, pentru o încăpere cu înălţime normală, este de circa 0,8 kWh/m² de suprafaţă a încăperii.	Alimentarea lămpilor de radiaţii infraroşii se face astfel încît faza reţelei se leagă la şurubul de contact iar neutrul la filetul metalic al duliei, pentru a înlătura pericolul de electrocutare la atingerea filetului duliei fig. 6.2.6).

între grupurile de electrozi-bară, aşezate pe orizontală la distanţa de 75 cm între ele. Pentru stîlpi, pereţi interiori şi pereţi dubli, cu modulul de 4—9, la o temperatură medie de încălzire de 25 °C, puterea specifică necesară este de 1,8—3 kW/m³, iar consumul specific de energie electrică, de 40—70

Tabela 6.2.3

Încălzirea cu raze infraroșii

Nr. crt.	Denumire	Reprezentare	Observații
1	Panou mobil pentru uscarea pereților		p_v — panou vertical; p_o — panou orizontal; *1* — sursă de raze infraroșii; *s* — suportul panoului; *Z* — zidărie care urmează a fi uscată;
2	Schema de alimentare a lămpii cu raze infraroșii		*1* — siguranță; *2* — întrerupător; *3* — rețea; *4* — filet metalic al duliei; *5* — șurubul de contact al duliei; *6* — soclul lămpii de raze infraroșii; *7* — balonul lămpii;
3	Montarea izvoarelor întunecate de raze infraroșii		*1* — izvor de lumină infraroșie; *2* — radiații calde oblice; *3* — tavan

kWh/m³. Pentru bolțile cu curbură dublă, cifrele sînt de 10 kW/m³ și 165 kWh/m³. Se observă că aceste consumuri, depind de modulul de suprafață.

6.2.4. **Încălzirea și uscarea cu raze infraroșii (tabelele 6.2.2 și 6.2.3).** Izvoarele de radiații infraroșii se amplasează pe dispozitive adecvate cerin-

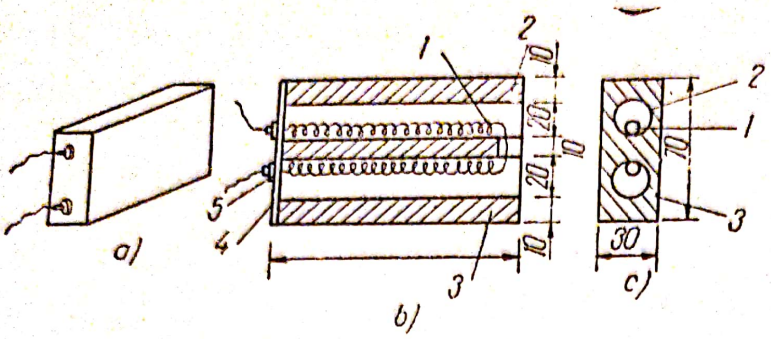


Fig. 6.2.4. Element de încălzire, pentru încălzirea indirectă:
a — aspect general; *b* — secţiune longitudinală; *c* — secţiune transversală; *1* — rezistenţă electrică pentru încălzire; *2* — canal pentru aşezarea rezistenţei; *3* — corpul elementului (material refractar dielectric); *4* — capac frontal de închidere; *5* — borne

ţelor impuse la configuraţia şi forma obiectului care urmează a fi încălzit, cel mai simplu dispozitiv folosit pe şantiere, fiind panoul mobil cu lămpi (tabela 6.2.3).

Pentru obţinerea uniformităţii de încălzire, panoul se dimensionează astfel încît pe marginile materialului de încălzit, să cuprindă un şir de lămpi care acţionează în gol. Raportul dintre numărul n_u al lămpilor utile care radiază pe material şi numărul total de lămpi n, instalate pe panou, dă factorul de utilizare f_u al lămpilor

$$f_u = \frac{n_u}{n} = 1 - k\frac{\sqrt{n} - 1}{n} \qquad (6.2.3)$$

în care coeficientul k este egal cu 4 cînd lămpile sînt aşezate în colţurile unor patrate şi cu 3,75, cînd sînt aşezate în colţurile unor triunghiuri echilaterale.

Cu trei panouri cu cîte 8 lămpi fiecare, se pot usca 80—100 m² suprafaţă spoită în 24 h (3,3—4,2 m²/h), iar cu un singur panou se pot usca 2 m²/h suprafaţă de uşi şi ferestre proaspăt vopsite.

La încălzirea încăperilor cu radiaţii infraroşii, se folosesc izvoare întunecoase, realizate din ţevi de metal de circa 2 m lungime, în interiorul cărora

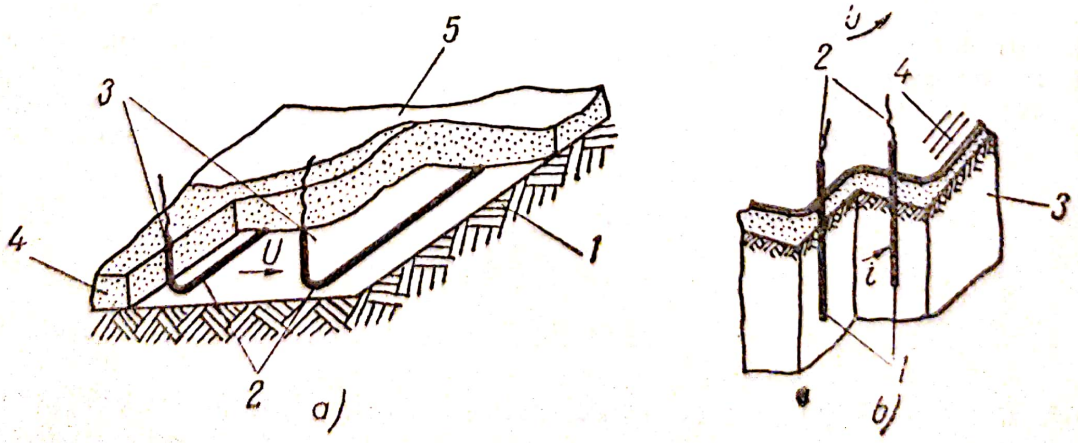


Fig. 6.2.5. *a* — Încălzirea solului cu electrozi orizontali superficiali:
L — sol; *2* — electrozi orizontali; *3* — bornele electrozilor; *4* — rumeguş de lemn umezit într-o soluţie de sare; *5* — carton asfaltat; *i* — curentul de încălzire; *b* — Încălzirea solului cu electrozi verticali: *1* — electrozi; *2* — bornele electrozilor; *3* — rumeguş de lemn umezit într-o soluţie de sare; *4* — izolaţie termică la suprafaţa solului (carton asfaltat, rogojini); *i* — curentul de încălzire; *U* — tensiune aplicată electrozilor.

Scanned with OKEN Scanner

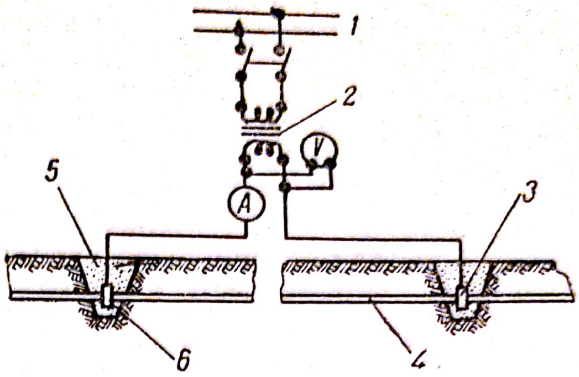


Fig. 6.2.6. Încălzirea electrică directă a conductelor de apă înghețate:
1 — rețea electrică; *2* — transformator de putere; *3* — bornă de contact (legătură electrică la conductă); *4* — conductă; *5* — umplutură de material izolant termic; *6* — puț de exploatare.

se introduc, izolat, rezistențe electrice pentru încălzire, montate sub tavan (tabela 6.2.3).

6.2.5. **Încălzirea electrică a solului (tabela 6.2.2.).** Se poate efectua prin curenți de înaltă sau joasă frecvență, în înaltă sau joasă tensiune.

Încălzirea în joasă tensiune și joasă frecvență (mai răspîndită, instalația fiind mai ieftină și pericolul de electrocutare mai mic), constă în trecerea unui curent electric prin solul înghețat, la tensiunea de 120, 220 sau 380 V, prin intermediul unor electrozi de oțel, orizontali sau verticali (fig. 6.2.5).

În joasă tensiune pentru mărirea conductivității electrice pe suprafața de încălzit se aplică un strat de rumeguș de lemn, umezit cu o soluție de clorură de sodiu, cu grosimea de 15—20 cm, sau se fac crestături de 6 cm adîncime, tăiate în sol între electrozi și umplute cu o soluție de sare.

6.2.6. **Încălzirea electrică a conductelor de apă înghețate (tabela 6.2.2), se face prin următoarele metode:** *a)* Încălzirea indirectă, care constă în încălzirea terenului din jurul conductei, după metodele indicate anterior.

b) Încălzirea directă (fig. 6.2.6), care se realizează prin legarea sectorului înghețat, care reprezintă o rezistență electrică, la o sursă de energie electrică. Legăturile electrice se efectuează la piesele conductoare care se află deasupra solului, la gurile de vizitare situate pe traseu, sau în lipsa acestora, se leagă direct porțiunea de conductă cu ajutorul puțurilor de exploatare. Pentru a evita răcirea conductei, după efectuarea legăturii electrice, puțul de exploatare se umple cu material izolant termic (rumeguș, zgură, etc).

6.3. SUDURA ELECTRICĂ

Sudura electrică este un procedeu electrotermic, folosit în scopul îmbinării pieselor metalice. Ea constă din topirea pe cale electrică a metalului, în punctul de îmbinare a pieselor, urmată de solidificarea lui, prin răcire, astfel că se obține o masă omogenă, formată din piesele sudate și materialul de sudură.

Scanned with OKEN Scanner

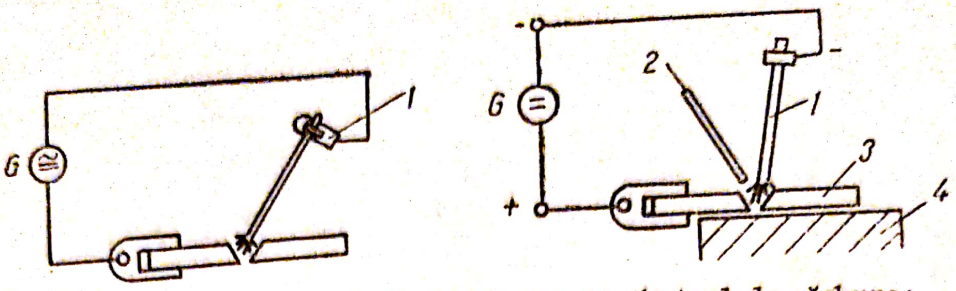


Fig. 6.3.1. *a* — Schema sudurii prin arc cu electrod de cărbune: *1* — electrod de cărbune; *2* — electrod metalic de adaus; *3* — piesa de sudat; *b* — Sudura prin arc cu electrod metalic.

După modul de obţinere a metalului topit, avem sudură prin rezistenţă de contact (prin puncte, cap la cap), şi sudură prin arc (ultima folosită pe şantierele de construcţii).

În procedeul de sudură prin arc, căldura necesară la topirea locală a metalului este produsă de un arc electric format între metalul piesei de sudat, care constituie unul din electrozii circuitului, şi un al doilea electrod, din acelaşi metal cu piesa care se sudează sau din cărbune (procedeu folosit numai în curentul continuu; încărcarea cu material de adaos se face topind în arc o bară subţire din acelaşi metal ca şi piesa, aşa cum se vede în figura 6.3.1 a).

În figura 6.3.1.b este reprezentată schema de principiu a sudurii cu arc cu electrod metalic, folosită în prezent pe scară largă, deoarece nu produce carburarea metalului. Operaţia de sudare se face punînd în contact, pentru scurt timp, electrodul metalic cu piesa de sudat, apoi electrodul se îndepărtează la 3—10 mm, cînd apare arcul electric. Tensiunea ncesară, în timpul producerii arcului este de 18—20 V, continuă sau alternativă.

În figura 6.3.2 este reprezentată o schemă simplă de sudură cu arc în curent alternativ, avînd următoarea funcţionare: la începerea operaţiei de

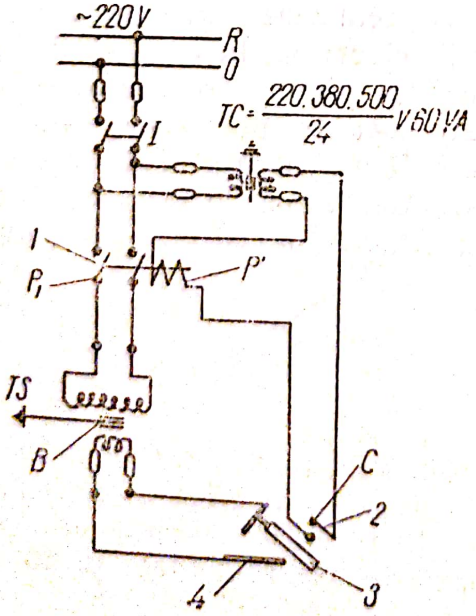


Fig. 6.3.2. Schema simplă de sudură: *1* — contactor de 24 V; *2* — clapeta de contact de la mînerul cleştelui; *3* — cleşte de sudură; *4* — piesa de sudat; *R*, *O* — reţeaua de alimentare; *P'* — bobina contactorului; *TC* — transformator coborîtor servind la alimentarea circuitului contactorului; *TS* — transformator de sudură; P_1 — contactele contactorului; *I* — întrerupătorul principal; *B* — blindaj, între primar şi secundar, legat la pămînt.

de sudare întrerupătorul 1 fiind închis, se apasă pe clapeta de contact 2, care închide circuitul bobinei P' a contactorului, alimentat de la rețea prin transformatorul auxiliar TC. Bobina P' închide contactul P_1 al contactorului, prin care transformatorul de sudură TS se conectează la rețea. Cînd nu se lucrează, contactul 2 este deschis, contactorul este deschis și transformatorul de sudură este scos de sub tensiune. La înlocuirea electrodului, sudorul trebuie să ia mîna de pe clapetă, deci se întrerupe alimentarea transformatorului de sudură, eliminîndu-se pericolul de electrocutare. Înainte de conectarea la rețea, utilajul de sudare se leagă la pămînt, pînă după deconenctarea lui de la rețea.

În completare, se dau tabelele 6.1.1.—6.1.6 și 6.2.1, 6.2.2.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL VII

PROTECȚIA MUNCII ȘI TEHNICA SECURITĂȚII ÎN INSTALAȚII ELECTRICE

7.1 GENERALITĂȚI

Acțiunea curentului electric asupra corpului omenesc, se manifestă prin arsuri (efect caloric), prin efecte asupra inimii sau asupra sistemului nervos ; în cazuri speciale cînd electrocutarea provoacă și căderea victimei de la înălțime, efectul primar al electrocutării poate fi agravat prin leziuni mecanice.

Rezistența electrică a corpului omenesc se consideră în calcule practice de 1000 ohmi, valoarea sa variind însă în limite destul de largi în funcție de condițiile locale, iar valoarea curentului electric care trece prin corpul omenesc la atingerea unei părți dintr-o instalație aflată sub tensiune, este determinată atît de valoarea acestei tensiuni, cît și de rezistența corpului omenesc, plus rezistențele de trecere respective. Un curent care la 50 Hz, depășește o valoare de 50 mA. nu mai poate fi considerat nepericulos ; de aceea ca tensiuni nepericuloase se folosesc practic tensiunile de 42 ; 24 și 12 V., după caz.

Din punctul de vedere al pericolului de electrocutare se deosebesc încăperi cu pericol redus, uscate, cu pardoseală izolantă ; cu pericol mărit, umede, cu pardoseală bună conductoare și în fine cu pericol foarte mare, foarte umede, cu pardoseală bună conducătoare. În prima categorie instalațiile se pot executa cu materiale normale, putîndu-se utiliza aparate și mașini electrice deschise, la tensiuni de utilizare normală (sub 250 V. între faze). Pentru a doua și a treia categorie instalațiile vor fi de tip etanș, respectiv se vor utiliza aparate și mașini portabile perfect izolate, respectiv cele alimentate la tensiuni nepericuloase.

Orice instalație trebuie executată în așa fel încît posibilitatea de atingere accidentală a elementelor aflate sub tensiune, respectiv ale celor care în mod normal nu se află sub tensiune, dar pot ajunge în mod accidental sub tensiune, să fie cu desăvîrșire exclusă. În acest scop se utilizează carcase legate la pămînt, se montează părțile metalice conducătoare la înălțimi inaccesibile, sau se instalează îngrădiri-plase-protectoare, prevăzute cu plăci avertizoare de interdicție, și legate la pămînt.

Scanned with OKEN Scanner

În cazuri de electrocutare, accidentatul trebuie scos imediat de sub acțiunea curentului electric, fie prin oprirea curentului, fie prin îndepărtarea victimei cu mijloace de protecție electroizolante corespunzătoare (mănuși, cizme, plăci de cauciuc, stângi izolanți etc.).

După ce victima a fost scoasă de sub acțiunea curentului electric, și dacă și-a pierdut cunoștința, în măsura în care nu are răni sau arsuri grave, i se va aplica respirația artificială, care se va continua pînă ce își revine, respectiv pînă ce se constată moartea victimei de către medicul care trebuie chemat imediat după producerea accidentului, În caz de revenire, accidentatul se va supune îngrijirii medicale.

7.2. MIJLOACE DE PROTECȚIE CONTRA ELECTROCUTĂRII

Pentru protejarea personalului de deservire a instalațiilor electrice de joasă tensiune se utilizează ca mijloace de protecție mănuși, cizme, galoși și covoare de cauciuc, platforme izolante, unelte cu mînere izolante precum și ochelari și căști de protecție împotriva efectelor arcului electric, respectiv ca protecție mecanică.

La lucrări pe stîlpi se folosesc cîrlige de urcat, centuri de siguranță și căști de protecție.

Încăperile și celulele instalațiilor electrice cu tensiuni de atingere periculoase, se păstrează închise permanent și vor fi prevăzute cu plăci avertizoare.

Cazurile de atingere directă în instalații de curent alternativ trifazic sînt prezentate în figura 7.1.

La utilizarea curentului alternativ trifazic, cu neutrul legat la pămînt în caz de atingere bipolară, corpul omenesc va fi supus unei tensiuni și deci unui curent mai mare în cazul atingerii monofazate, cînd este supus tensiunii de fază.

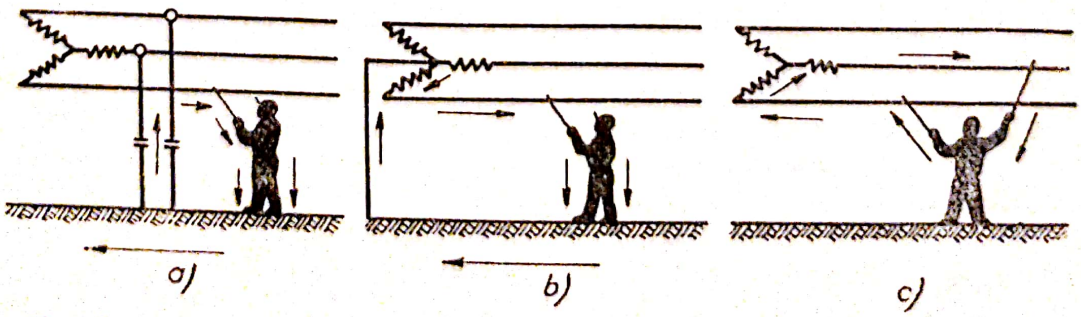


Fig. 7.1. Cazurile de atingere directă în instalațiile de curent alternativ trifazat:
a — atingere monopolară cu neutrul izolat; b — atingere monopolară cu neutrul legat la pămînt; c — atingere bipolară.

Scanned with OKEN Scanner

7.3. PROTECŢIA CONTRA TENSIUNILOR ACCIDENTALE

Tensiunile accidentale de atingere apar atunci, cînd elementele conductoare de curent ale unor instalaţii, maşini sau aparate, care în mod normal nu sînt sub tensiune, intră sub tensiune datorită unui defect de izolaţie.

Pentru limitarea curentului la o valoare nepericuloasă, respectiv pentru deconectarea automată a elementelor instalaţiei electrice ajunse sub tensiunea accidentală, se folosesc următoarele măsuri de protecţie:

a) alimentarea la tensiune nepericuloasă (24 respectiv 12 V. după gradul de pericol al locului de muncă) a utilajelor electrice şi a lămpilor electrice portative;

b) izolarea suplimentară de protecţie;

c) separarea de protecţie;

d) protecţie prin legare la pămînt;

e) protecţie prin legare la nul (trebuie observat că în instalaţiile în care se aplică protecţia prin legarea la nul, este interzisă legarea în acelaşi timp şi la alte instalaţii de legare la pămînt);

f) protecţia automată prin releu de tensiune accidentală (Heinisch-Riedel).

Protecţia instalaţiilor şi utilajelor electrice de pe şantiere, unde condiţiile de exploatare sînt mult mai grele ca la instalaţiile permanente, necesită o atenţie mult mai mare decît în cazul instalaţiilor cu caracter permanent.

Legarea la pămîntarea de exploatarea a punctului neutru al secundarului transformatorului, asigură buna funcţionare a instalaţiilor atît în exploatarea normală cît şi în caz de defecte, cînd prin această măsură se limitează tensiunea din reţeaua de joasă tensiune, chiar şi în cazul pătrunderii înaltei tensiuni prin străpungerea izolaţiei (fig. 7. 2).

Legarea carcasei transformatorului la pămîntarea de protecţie, are ca scop micşorarea tensiunii de atingere accidentală la valori nepericuloase în special în cazul reţelelor trifazice legate în triunghi, cu trei fire, şi neutrul izolat, sistem utilizat în continuare, mai ales pentru tensiunea nominală de 3 × 500 V. (fig. 7.3).

După cum se vede în figura 7. 3, respectiv pe curba de repartizare a potenţialului, cînd priza de pămînt ajunge la potenţialul U, ca urmare a defec-

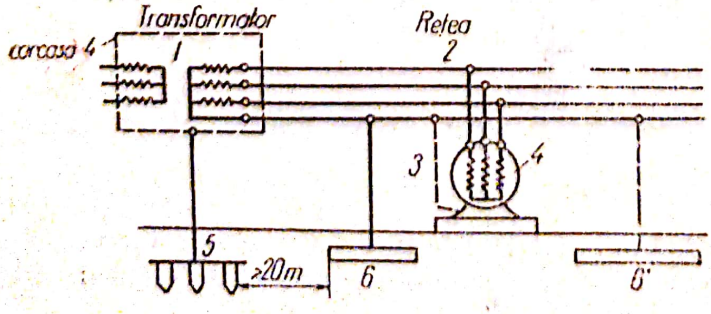


Fig. 7.2. Reţea cu echipament electric legat la neutru:

1 — transformator; *2* — reţea; *3* — receptor; *4* — carcasa transformatorului; *4'* — carcasa receptorului; *5* — priză de pămînt de protecţie; *6* — priză de pămînt de exploatare; *6'* — priză de pămînt pentru legarea la pămînt repetată a conductorului neutru.

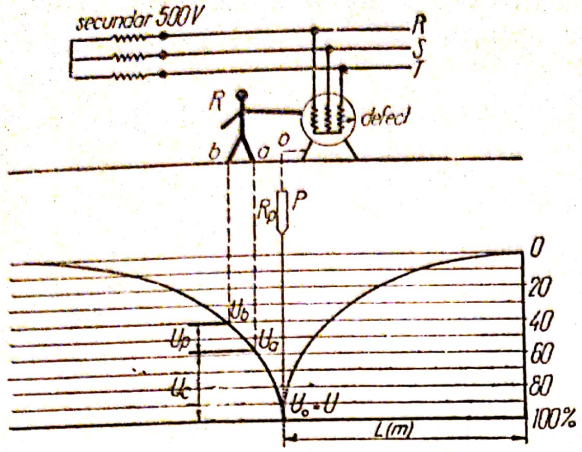


Fig. 7.3. Legarea la pămînt a unui receptor electric. Curba de repartiție a potențialelor și determinarea tensiunii de contact U_c și de pas U_p.

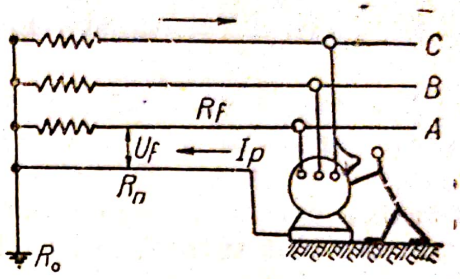


Fig. 7.4. Legarea la neutru într-o rețea cu neutrul legat la pămînt.

tării izolației, potențialul scade cu distanța față de electrodul prizei, în funcție de rezistența solului, ajungînd la valoarea zero practic la cca. 20 m. în cazul instalațiilor de joasă tensiune. Tensiunea de atingere U_c este diferența de potențial dintre potențialul U_0 al punctului O de amplasament al prizei și cel al locului unde stă omul U_a, în așa fel că $U_c = U_0 - U_a$. La fel se definește tensiunea de pas, ca fiind diferența de potențial a punctelor de așezare a picioarelor unui om în mers $U_p = U_a - U_b$. Rezistența de trecere a prizei trebuie să fie cît mai mică, practic de cel mult 4 ohmi, urmărindu-se în cazuri speciale reducerea acestei valori pînă la 2 ohmi. În cazul montării de prize repetate, se calculează cu valoarea rezistenței echivalente obținută pe considerentul funcționării în paralel ale tuturor acestor prize.

Legarea de protecție la conductorul neutru (la nul), aplicată în rețelele trifazice cu patru conductoare, are același scop și cu condiția unei execuții conștiincioase, același efect ca și legarea directă la pămînt, respectiv la conductorul de pămînt. Calitatea pămîntărilor, respectiv valoarea rezistenței de trecere a prizei de pămînt al postului de transformare (respectiv a prizelor repetate, deci a rezistenței echivalente) la care se leagă conductorul neutru al rețelei, constituie un factor de bază ce determină condițiile de protecție asigurate de acest sistem. Se poate observa din figura 7.4 că la acest sistem, orice străpungere de izolație într-un receptor dă loc la un scurtcircuit net, și deci la deconectarea porțiunii respective prin siguranțele fuzibile sau automate. În cazul nedeconectării, se pun sub tensiune toate instalațiile protejate prin legarea la neutru, o situație periculoasă împotriva căreia este necesar să se ia măsuri de limitare astfel, încît tensiunea să nu poată depăși valoarea de 65 V. considerată ca nepericuloasă, în caz contrar, dacă această condiție nu se poate realiza, se interzice legarea de protecție la neutrul instalației.

Scanned with OKEN Scanner

La executarea instalaţiilor de legare de protecţie la pămînt sau la conductorul neutru, trebuie observat ca fiecare receptor să fie legat separat, deriva ţie, legarea în serie, în mod succesiv a mai multor receptoare, fiind interzisă.

7.4. DATE CONSTRUCTIVE ASUPRA PRIZELOR DE PĂMÎNT

Aşa cum s-a arătat mai sus, protecţia prin legare la pămînt (respectiv la nul) se realizează prin legături galvanice ale unor părţi metalice ale instalaţiei electrice de protejat contra tensiunilor de atingere, cu obiecte metalice care se află în pămînt şi care se numesc prize de pămînt naturale, sau care sînt introduse în pămînt tocmai în acest scop, şi care se numesc prize de pămînt artificiale.

Prizele de pămînt naturale sînt constituite din conducte de apă, mantale de cabluri sau alte obiecte metalice îngropate în pămînt, iar cele artificiale se realizează din electrozi de metal-oţel zincat, cupru etc. sub formă de ţevi, ţăruşi, plăci de tablă, benzi etc.

Electrozii din ţeavă, ţăruşi şi tablă se introduc în pămînt în poziţie verticală, la o adîncime de cel puţin 0,7 m. sub limita de îngheţ; benzile se dispun orizontal, la o adîncime de cel puţin 0,5 m. sub nivelul solului.

Pentru calculul prealabil al electrozilor celor mai uzuali, se folosesc următoarele formule empirice:

— electrozi din tablă

$$R = \frac{\rho}{4a} \ [\Omega]$$

— electrozi din ţeavă

$$R = \frac{\rho}{2\pi a} \lg \frac{4a}{d} \ [\Omega]$$

— electrozi din benzi

$$R = \frac{\rho}{2\pi a} \lg \frac{a^2}{h \cdot \frac{b}{2}} \ [\Omega]$$

în care ρ este rezistivitatea solului în Ω. m., a este dimensiunea principală a electrodului în m. (latura patratului, lungimea ţevii etc.), d, h şi b sînt diametrul ţevii, respectiv grosimea şi lăţimea benzii în m.

Pentru practica curentă se pot utiliza următoarele formule simplificate:

— pentru plăci din tablă

$$R = 0{,}25 \cdot \frac{\rho}{a} \ [\Omega]$$

— pentru ţevi

$$R = 0{,}9 \cdot \frac{\rho}{a} \ [\Omega]$$

Scanned with OKEN Scanner

— pentru benzi sau funii

$$R = 2{,}1 \cdot \frac{\rho}{a} \ [\Omega]$$

fiind valabile pentru cazurile generale cînd sînt îndeplinite următoarele condiții:

— plăcile să aibă o formă de patrat și să fie așezate în poziție verticală.

— țevile să fie de 2" și să fie îngropate sau bătute în pămînt între 1—5 m. adîncime în poziție verticală.

— benzile să aibă o secțiune minimă ca ordin de mărime de 4 × 40 mm², sau 50 mm², o lungime de pozare de 3—10 m. și o adîncime de îngropare de cca. 0,5 metri în pămînt.

Cînd distanța între electrozi depășește 40 m. rezistența de trecere a prizei formată din n electrozi este dată de relația $R_p = R_e/n$, în care R_e este rezistența de trecere a unui singur electrod. Dat fiind că în practică electrozii se așază la distanță de 3—5 m. între ei, se produce o ecranare reciprocă, care are ca efect creșterea valorii rezistenței prizei potrivit relației $R_p = R_e/\eta.n$, în care η este coeficientul de ecranare, avînd valori între 0,65—0,90.

Legătura dintre prizele de pămînt și carcasa receptoarelor de protejat, se realizează cu bandă de oțel zincat sau cu conductoare-funie sau benzi-de cupru. Verificarea rezistenței de trecere a prizei și a continuității legăturilor de protecție se execută prin măsurători asupra instalației complet terminate. Dacă valoarea măsurată a rezistenței este mai mare decît valoarea prescrisă, se va introduce un număr corespunzător de electrozi suplimentari, pînă la obținerea valorii prescrise.

Ținîndu-se cont de variațiile sezoniere ale valorii rezistenței solurilor, în funcție de condițiile meteorologice, rezultatele măsurătorilor se vor aprecia în consecință, iar verificarea ulterioară-periodică a rezistenței prizelor se va face cel puțin de două ori pe an, corespunzător anotimpurilor celor mai secetoase, respectiv umede.

Pentru a obține o valoare a rezistenței de trecere a instalației de legare la pămînt, independentă de anotimp, valorile rezistențelor rezultate din calculul se majorează cu un coeficient de climă a cărui valoare este în funcție de zona meteorologică, conform tabelei 7.1.

Tabela 7.1

Valorile aproximative ale coeficienților de climă

Felul prizei \ Regiuni meteorologice	I	II
Artificială, din țevi de oțel sau corniere verticale, cu lungimea de 2—3 m. și adîncimea părții superioare de la suprafața solului de 0,5—0,8 m.	1,5—2	1,2—1,6
Artificială, din benzi de oțel sau rotunde, îngropate orizontal la 0,8 m. adîncime	3,5—7	1,5—2,5

Observație: Regiunile I sînt mai uscate, iar regiunile II mai umede. Regiunea I cuprinde Moldova, Muntenia, Oltenia și Dobrogea, iar regiunea II restul țării.

Scanned with OKEN Scanner

În tabela 7.2. sînt reproduse din literatura de specialitate valorile rezistenţelor de trecere a prizelor de pămînt cele mai utilizate, pentru diferite soluri.

La lucrări de proiectare a prizelor de pămînt se vor folosi în practică indicaţiile cuprinse în Normativul CSCAS I—7. 62.

Tabela 7.2

Rezistenţele de trecere ale prizelor de pămînt uzuale

Felul solului	Prize ţevi pînă la 2" Adîncimea în m			Prize patratice Suprafaţă m² pe o faţă			Prize benzi de la 50 mm² în sus Lungimea			
	2	4	6	0,5	1	2	25	50	100	
Teren mocirlos	23	12	7,5	25	12	6	4,2	2,1	1,1	Ω
Teren arabil sau argilos	45	23	15	50	25	12	9	4,5	2,5	Ω
Teren nisipos	270	135	90	300	150	75	50	25	12	Ω
Teren cu pietriş	450	230	150	500	250	120	95	45	25	Ω

După W. Schrank: Schutz gegen Berührungsspannungen — R. Oldenbourg München — Berlin 1942

7.5. NORME DE TEHNICA SECURITĂŢII MUNCII

În ţara noastră modul de întocmire şi de aplicare a normelor de tehnica securităţii şi de igiena muncii este stabilită prin lege, acestea fiind obligatorii pentru sectoarele respective de activitate economică.

Pentru asigurarea condiţiilor de utilizare nepericuloasă a instalaţiilor electrice la consumator, în construcţii ca şi pe şantiere este indispensabil ca acestea să fie proiectate, executate şi verificate întocmai în conformitate cu prevederile Normativului CSCAS I—7. 62, referitor la normele de securitate a muncii.

La proiectarea acestor instalaţii trebuie prevăzute toate măsurile pentru prevenirea şi reducerea gravităţii eventualelor accidente care ar putea avea loc, atît la execuţie cît şi la exploatare şi întreţinere de către personalul de execuţie al întreprinderii de instalaţii precum şi de personalul de exploatare al beneficiarului lucrării. De asemenea se vor prevedea în documentaţia de proiectare seria completă de mijloace individuale de protecţie cu care trebuie să fie dotată instalaţia înainte de predarea ei în exploatarea beneficiarului.

Pentru prevenirea accidentelor de muncă în toate fazele: execuţie, verificare, întreţinere, control periodic sau ocazional şi reparaţii este absolut necesar ca pe lîngă măsurile tehnice de proiectare şi de dotare cu mijloacele de protecţie adecvate şi verificate, să se ia toate măsurile organizatorice necesare, dintre care cea mai importantă trebuie socotită selecţionarea, instruirea şi verificarea cunoştinţelor profesionale şi de protecţia muncii.

Scanned with OKEN Scanner

a personalului utilizat, atît la montaj, cît și în exploatare și întreținere-reparații; experiența a dovedit că instructajul profesional trebuie să se facă concomitent cu instructajul de protecția muncii, avînd în vedere că un procentaj covîrșitor de accidente afectează persoane cu instructaj profesional ridicat care pe baza nivelului lor profesional ridicat, neglijează adesea cele mai elementare reguli de tehnica securității în instalații electrice.

În cursul execuției lucrărilor de montaj al instalațiilor electrice la consumator, la rețele aeriene și de cabluri subterane se vor aplica întocmai normele de tehnica securității pentru instalațiile electrice de joasă tensiune elaborate de M.E.E. —1965; la executarea instalațiilor interioare la construcții, avînd un specific aparte se va da cea mai mare inportanță instructajului întregului personal și dotarea lui cu sortimentul complect de scule și dispozitive de lucru precum și mijloace individuale de protecție de bună calitate, în stare perfectă și verificate în prealabil ca: dălți, ciocane, perforatoare manuale, mașini de găurit și de tăiat șanțuri electrice, schelele, scări, platforme, cască, ochelari și mănuși de protecție; dacă se lucrează la extinderea sau refacerea unei instalații sub tensiune, sau care poate fi pusă în mod accidental sub tensiune, personalul va fi dotat cu mijloace de protecție electroizolante specifice exploatării: indicator de tensiune, mănuși, cizme și covoare de cauciuc, scule cu mînere izolante, garnituri de scurtcircuitare și ochelari de protecție, tăblițe de avertisment și admitere, îngrădiri mobile etc.

Mașinile-unelte electrice portabile vor fi de tipul cu contacte de protecție, iar agregatele de sudură electrică mobile vor avea carcasele legate la pămînt. În locuri periculoase (umiditate, praf bun conductor, etc.) se vor folosi mașini cu izolație mărită alimentate la tensiuni nepericuloase 12—24 V, după caz.

Se va da mare atenție folosirii reglementare a lămpii de benzină și în general a focului cu flacără deschisă.

Pentru prevenirea pericolului de cădere de la înălțime, schelele, platformele, scările de lucru, se vor verifica înainte de începerea lucrului de o persoană competentă (maistru) și nu se vor folosi scări mai mari de 2,5 m.

Lucrările noi se execută fără tensiune; orice alte lucrări se vor executa după cît posibil de asemenea fără tensiune; dacă acest lucru nu este posibil personalul va fi dotat cu indicatoare de tensiune și cu materiale de protecție izolante, prezentînd o siguranță totală împotriva electrocutărilor, sub controlul unui supraveghetor competent din partea exploatării.

Verificarea și controlul instalațiilor electrice după terminarea montajului și înainte de darea lor în exploatare, inclusiv a întregului aparataj aferent de conexiune, protecție și utilizare, se face în condițiile de exploatare normală, luîndu-se deci toate măsurile de prevedere pentru prevenirea eventualelor accidente. Astfel se va proceda după verificarea continuității conductoarelor active, la verificarea prizei de protecție și a continuității legăturii la pămînt a fiecărui obiect (carcasă, tablou etc.) care în condiții normale de funcționare trebuie să fie legat la pămînt și numai după reușita acestor operații se poate dispune punerea sub tensiune a întregii instalații și a tuturor corpurilor consumatoare de orice natură: forță, lumină sau alte utilizări.

Scanned with OKEN Scanner

În faza de exploatare şi de întreţinere curentă, beneficiarul urmează să asigure prin personalul energetic propriu, aplicarea întocmai a normelor de tehnica securităţii pentru instalaţiile electrice de joasă tensiune ale M.E.E. — 1965, atît pentru instalaţiile interioare propriu zise, cît şi pentru instalaţiile de reţele aeriene şi cabluri subterane de joasă tensiune din incintă şi pe care le exploatează prin personalul său propriu.

Pentru cazul în care beneficiarul are în exploatarea sa şi instalaţii interioare, reţele aeriene sau cabluri subterane, posturi de transformare sau conexiune cu tensiuni peste 1000 V., este obligat a asigura aplicarea integrală pentru aceste instalaţii a normelor de tehnica securităţii pentru instalaţii electrice de înaltă tensiune ale M.E.E.

În cazuri de reparaţii, amplificări sau extinderi de instalaţii existente, se vor aplica normele de tehnica securităţii pentru instalaţii electrice de joasă tensiune ale M.E.E., urmărindu-se după posibilităţile date şi condiţiile locale, scoaterea de sub tensiune totală sau parţială a instalaţiei respective în scopul prevenirii accidentelor datorite tensiunii de atingere periculoase.

În mod similar se va proceda în cazul verificărilor periodice ale instalaţiilor electrice existente.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL VIII

ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A ŞANTIERELOR DE CONSTRUCŢII

8.1. PRINCIPII GENERALE

În utilizarea energiei electrice pe şantierele de construcţii-montaje, survin următoarele aspecte specifice:

— folosirea unor instalaţii de alimentare cu energie electrică, transferate uneori de la alte şantiere, ale căror caracteristici electrice nu corespund în întregime condiţiilor cerute de regimul de lucru;

— stadiul lucrărilor de construcţie, impune schimbarea componenţei receptoarelor electrice, ceea ce produce fluctuaţii în alimentarea şantierului cu energie electrică (distribuţie, putere, energie);

— regimul de lucru al utilajelor poate duce la funcţionarea receptoarelor electrice la sarcini diferite de cele nominale (gol, suprasarcină), de unde decurg o serie de dezavantaje (variaţii mari de putere şi energie, factor de putere scăzut, uzura prematură a receptoarelor, etc);

— exploatarea iraţională a unor instalaţii anexe de utilizare a energiei electrice (ventilaţia, încălzirea electrică, etc.), poate produce creşterea consumurilor specifice de energie electrică;

— lucrul în mai multe schimburi, duce la denivelarea curbei puterilor în sistemul energetic de la care este alimentat şantierul.

Faţă de aceste caracteristici, la organizarea şantierului, la exploatarea instalaţiilor electrice, se va ţine seama de următoarele considerente;

— se vor folosi instalaţii electrice corespunzătoare puterii electrice, necesare în diferitele etape ale costrucţiei, care, deşi prezintă unele aspecte de provizorat, se dimensionează conform normativelor tehnice şi celor de securitatea muncii. Aceste calcule de dimensionare, se fac la fiecare organizare şi reorganizare de şantier, dîndu-se importanţă alegerii tensiunii, amplasării punctelor de alimentare în centrul de greutate al consumului şi adoptării celor mai avantajoase trasee şi tipuri de reţele de distribuţie;

— se va căuta ca receptoarele electrice să funcţioneze în regim cît mai apropiat de regimul nominal, şi în caz de justificare pe linie economică, se face compensarea artificială a factorului de putere;

— centralizarea pregătirii materialelor pentru un şantier sau un grup de şantiere, duce la centralizarea receptoarelor electrice, la reducerea lun-

Scanned with OKEN Scanner

gimii reţelelor de distribuţie, la ritmicitatea în producţie şi la uniformizarea consumului de energie electrică ;

— realizarea unor indici corespunzători de înzestrare a muncii cu energie electrică, respectarea normelor de consum specific de energie electrică, economisirea energiei la desfăşurarea proceselor de lucru şi a proceselor auxiliare, duce la un bilanţ favorabil al utilizării energiei electrice pe şantiere.

8.2. PRINCIPII DE ORGANIZARE A ŞANTIERULUI, DIN PUNCTUL DE VEDERE AL ALIMENTĂRII CU ENERGIE ELECTRICĂ

Pentru proiectarea reţelelor electrice de alimentare a şantierelor, trebuie să se cunoască numărul receptoarelor electrice, regimul lor de funcţionare, condiţiile lor de lucru (NTS), poziţia lor în etapele lucrărilor pe şantier şi sursele posibile de alimentare cu energie electrică.

8.2.1. **Stabilirea puterii necesare.** Puterea electrică maximă P cerută de şantier, se determină pe baza proiectului de organizare a şantierului, luînd în considerare puterile utilajelor de forţă P_f folosite în diferitele stadii de construcţie şi puterile P_e, P_t folosite la iluminat şi la consumatori tehnologici.

Pentru evaluarea puterii consumate se ţine seama de randamentul receptoarelor precum şi de faptul că nu lucrează toate simultan şi nici la încărcarea nominală, factorii care definesc aceste condiţii fiind randamentul η, factorul de simultaneitate a şi factorul de încărcare k, care se evaluează prin coeficientul de cerere C_k, stabilit pe grupuri de consumatori şi daţi în tabele: pentru forţă C_f, lumină C_l, consumatori tehnologici C_t (sudare, încălzire electrică etc. tab. 8.2.1.)

Se stabilesc factorul de putere şi puterile instalate, pe grupuri de consumatori (pentru forţă : $\cos \varphi_f$, P_f ; pentru consumatori tehnologici $\cos \varphi_t$, P_t ; pentru iluminat : $\cos \varphi = 0$; P_l).

Se determină puterea totală activă absorbită, pentru însumarea puterilor instalate înmulţite cu coeficienţii de cerere

$$P_a = 1{,}1 \left(\sum \frac{P_f C_f}{\cos \varphi_f} + \sum P_l C_l + \sum \frac{P_t C_t}{\cos \varphi_t} \right) \qquad [\text{kW}] \qquad (8.2.1)$$

Prin coeficientul 1,1 se ţine seama de pierderile de putere în reţele şi transformatoare (2% în reţeaua de înaltă tensiune, 3% în transformatoare şi 5% în reţeaua de joasă tensiune.

Se determină factorul de putere general pe întreaga instalaţie şi se determină puterea reactivă absorbită :

$$Q_a = P_a \operatorname{tg} \varphi \qquad (8.2.2.)$$

Tabela 8.2.1

Valorile unor coeficienți de calcul pentru diferite categorii de consumatori electrici

Categoria consumatorilor	Coeficientul de cerere k_c	Coeficientul de consum k_W	Factorul de putere cos φ	tg φ	Observații
1	2	3	4	5	6
Receptoare de acționări					Acționarea se consideră în general cu motoare asincrone. La acționarea cu motoare sincrone se va lua cos φ = 1 tg φ = 0
Alimentatoare cu plăci, cu discuri, cu tambure	0,45—0,6	0,32	0,5—0,75	1,73—0,88	
Aeroterme	0,7	0,25	0,8	0,74	
Ciururi	0,55—0,65	0,35	0,6—0,7	1,32—1,00	
Conveioare	0,5—0,6	0,22	0,5—0,7	1,73—1,00	
Concasoare cu ciocane	0,9	0,35	0,8	0,74	
Compresoare acționate cu motor asincron	0,75	0,50	0,8	0,74	
Compresoare acționate cu motor sincron	0,75	0,50	1,0	0,00	
Concasoare	0,65	0,40	0,75—0,8	0,88—0,74	
Exhaustoare	0,8	0,55	0,9	0,48	
Elevatoare lucrînd separat	0,45	0,25	0,7	1,00	
Elevatoare funcționînd electroblocat	0,6	0,45	0,75	0,88	
Foarfece de tăiere la rece	0,45	0,25	0,65	1,17	
Impingător de cocs	0,17	0,05	0,75	0,88	
Locomotive electrice	0,17	0,1	0,75	0,88	
Mori cu bile	0,8	0,45	0,87	0,56	
Mori cu ciocane	0,75	0,45	0,85	0,61	
Macarale cu graifere	0,18	0,05	0,6	1,32	
Macarale cu DA = = 25%	0,1	0,05	0,5	1,73	
Macarale cu DA = = 40%	0,15	0,08	0,5	1,73	cos φ = 0,5 pentru motoare în scurtcircuit; pentru motoare cu rotorul bobinat se va lua cos φ = 0,65
Macarale cu magnet	0,5	0,15	0,65	1,17	
Macarale turn și portal	0,18	0,10	0,5	1,73	
Mașină de încărcat cuptoare	0,2	0,05	0,5	1,73	
Mașină de îndreptat laminate	0,20	0,10	0,45	1,99	—
Mașini-unelte de prelucrat metale cu regim normal de funcționare (strunguri, raboteze, mașini de frezat, de mortezat, polizoare etc.)					
— producție de serie mică	0,12—0,14	0,10	0,4—0,5	2,2 —1,73	—
— producție de serie mare	0,18	1,14	0,5 —0,6	1,73—1,32	—

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 8.2.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6
Maşini-unelte cu regim de greu de lucru (strunguri automate şi revolver, strunguri de cojit, prese excentrice etc.)	0,22	0,18	0,65	1,17	—
Maşini-unelte cu regim foarte greu (acţionare ciocane, tamburi de curăţare etc.)	0,3 —0,35	0,22	0,65	1,19	—
Maşini de preparare pământuri în turnătorii	0,4 —0,45	0,35	0,75	1,00	—
Mecanisme portabile	0,1	0,03	0,45	1,99	—
Pompe de apă cu sarcina continuă	0,75	0,55	0,80	0,74	—
Pompe de apă pentru centralele hidraulice de la prese	0,45	0,18	0,6	1,35	—
Snecuri	0,6	0,28	0,7	1,00	—
Stivuitoare	0,3	2,1	0,7	1,00	—
Schip	0,3	0,20	0,5	1,73	—
Suflante	0,8	0,55	0,8	0,74	—
Transportoare cu bandă (interblocate)	0,5 —0,6	0,40	0,6	1,33	—
Idem, lucrînd izolate	0,35—0,45	0,25	0,55	1,51	—
Transportoare cu role	0,25—0,35	0,15	0,6	1,33	—
Ventilatoare	0,65—0,75	0,50	0,8	0,74	—
Receptoare termice şi de sudură					
Aparate mărunte de încălzire	0,4 —0,6	0,18	1,0	0,00	—
Agregate motor-generator de sudare pentru un singur post	0,30	0,12	0,5	1,73	—
Idem, pentru mai multe posturi	0,6	0,35	0,6	1,32	—
Automate de sudare cu arc	0,4	0,35	0,6	1,32	—
Cuptoare cu rezistenţă cu încărcare continuă	0,85	0,60	1,0	0,00	—
Idem, cu încărcare periodică	0,6	0,35	1,0	0,00	—
Cuptoare cu băi de sare	0,65	0,4	0,8	0,74	—
Cuptoare cu arc pentru topit oţel					
— de 0,5—1,5 t	0,65	0,4	0,8	0,74	—
— de 3 —10 t	0,75	0,48	0,9	0,48	—

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 8.2.1. (continuare)

1	2	3	4	5	6
Cuptoare cu arc pentru metale neferoase	0,78	0,45	0,75	0,88	—
Cuptoare de inducție de frecvență joasă (fără compensarea energiei reactive)	0,75	0,45	0,35	2,67	—
Idem, cu compensarea energiei reactive	0,72	0,45	0,95	0,32	—
Cuptoare rundotermice (cu funcționare continuă) cu transformatoare trifazate de 6—9 MVA	0,95	0,50	0,9	0,48	—
Dulapuri (etuve) de uscare	0,7	0,45	1,00	0,00	—
Mașini de sudare continuă usătură)	0,65	0,2	0,7	1,0	—
Idem, de sudat cap la cap și prin puncte	0,55	0,15	0,6	1,32	—
Transformatoare de sudare cu arc	0,35	0,09	0,35	2,28	—
Diverse instalații de forță					
Convertizoare de frecvență	0,4 —0,6	0,28	0,7 —0,6	1,00—1,33	—
Electrofiltre	0,55	0,35	0,85	0,62	—
Grupuri motor generrator	0,65	0,30	0,8	0,75	—
Separatoare magnetitice	0,5	0,25	0,7—0,8	1,00—0,75	—
Redresoare pentru instalații de acoperiri metalice	0,5	0,3	0,7	1,00	—
Instalații de iluminat					
Pentru clădiri mici la 200 m²	1,00	0,8	0,9	0,48	se consideră
Hale industriale cu mai multe deschideri fără separații	0,95	0,9	pentru iluminat fluorescent		
Hale industriale cu ateliere și încăperi separate	0,85	0,8	și		
Clădiri sociale și administrative, școli, laboratoare	0,9	0,9	1,00	0,00	
Magazii	0,6	0,4			pentru iluminat incandescent
Posturi trafo	0,6	0,2			
Centrale și stații energetice	0,9	0,9			
Iluminat exterior	0,9	0,6			

Scanned with OKEN Scanner

Se determină puterea aparentă a transformatorului absorbită de la barele de joasă tensiune

$$S = \sqrt{P_a^2 + Q_a^2} = \frac{P_a}{\cos \varphi} \qquad (8.2.3)$$

Se aleg transformatoarele necesare şi cu ajutorul tabelelor, se calculează pierderile totale active şi reactive

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_{sc} \quad [\text{kW}] \qquad (8.2.4)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_0 + Q_{sc} \quad [\text{kVAr}] \qquad (8.2.5)$$

Menţionăm că dacă pe şantier se folosesc şi maşini electrice de înaltă tensiune (excavatoare, drage, etc), la determinarea puterilor totale absorbite, la bornele de înaltă tensiune, se iau în considerare şi puterile active şi reactive ale acestora.

8.2.2. **Surse de energie.** După determinarea puterii absorbite se alege soluţia de alimentare a şantierului.

În cazul cînd alimentarea se face de la reţeaua publică, soluţia se fixează de comun acord cu intreprinderea furnizoare de energie electrică pe baza unui aviz prealabil al acesteia.

Dacă racordarea şantierului la o reţea existentă nu este justificată din punct de vedere economic, nu se poate realiza în timp util, sau există alte piedici obiective, şantierul poate fi alimentat cu grupuri electrogene, la proiectarea reţelelor trebuind să se ţină seama dacă acestea pot funcţiona în paralel (se prevăd şi grupuri de rezervă).

8.2.3. **Reţele de distribuţie.** După determinarea puterii şi alegerea soluţiei de alimentare a şantierului, se calculează reţelele de distribuţie. În general, se recomandă să nu fie folosite în incinta şantierului linii aeriene de înaltă tensiune.

Traversările aeriene vor avea deschideri cît mai mari, iar înălţimea liniilor aeriene, în orice zonă, va fi de minimum 6 m de la sol; stîlpii vor fi dubli sau de tip A, evitîndu-se ancorele sau proptelele.

Materialele pentru instalaţii sînt cele prevăzute în normative, iar tablourile de distribuţie vor fi închise, capsulate sau etanşe, prevăzute cu întrerupător general şi posibilităţi de închidere, pentru a nu fi accesibile decît pentru personalul autorizat.

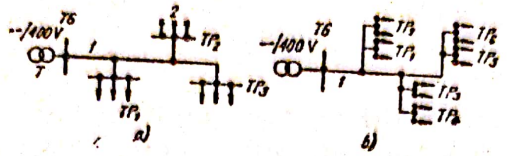
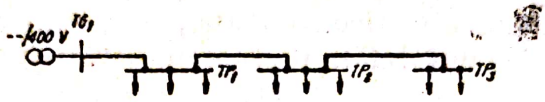
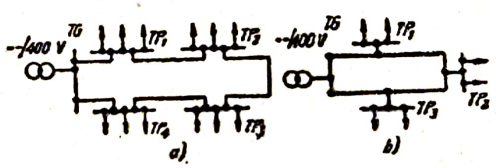
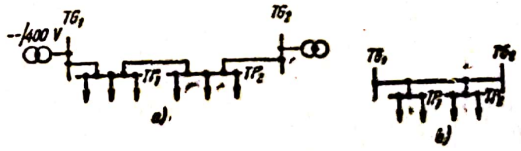
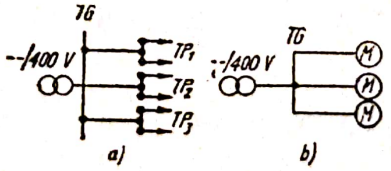
Instalaţiile de forţă, iluminat şi protecţie, se execută şi se exploatează conform normelor generale şi normelor valabile pentru condiţiile de pe şantiere.

După modul de alimentare al punctelor de distribuţie, sistemele de distribuţie pot fi cu linii principale (magistrale) sau cu linii radiale, avînd o serie de sisteme derivate, în funcţie de situaţia locală şi particularităţile receptoarelor (tab. 8.2.2).

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 8.2.2

Schema de alimentare a consumatorilor

Nr. crt.	Denumirea	Reprezentare	Observații
1	Alimentare prin legarea în paralel la o magistrală		*1* — magistrală *2* — coloană *TG* — tablou general; *T* — trafo;
2	Alimentare în cascadă (în lanț)		
3	Alimentare în buclă închisă		*a)* — în cascadă; *b)* — în paralel;
4	Alimentarea de la două surse pe la ambele capete)		*a)* — în cascadă; *b)* — în paralel;
5	Alimentarea radială		*a)* — a punctelor de distribuție; *b)* — a receptoarelor;

Schema de alimentare în buclă închisă a tablourilor principale (tab. 8.2.2), de la un singur post de transformare are avantajul de a permite alimentarea tuturor punctelor de distribuție, în cazul întreruperii liniei între două puncte de distribuție.

În tabela 8.2.2. este reprezentată de asemenea schema alimentării tablourilor pe la ambele capete (de la două surse), una din surse considerîndu-se de rezervă, funcție de încadrarea întreprinderii în una din categoriile I, II sau III.

Scanned with OKEN Scanner

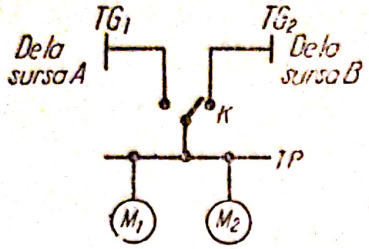


Fig. 8.2.1. Alimentarea unui tablou principal de la două surse separate, prin comutare:
TG_1, TG_2 — tablouri principale la sursele A, B;
K — comutator; TP — tablou principal;
M_1, M_2 — receptoare.

În figura 8.2.1 se arată alimentarea unor receptoare importante, a căror funcţionare nu poate fi întreruptă (de exemplu pompe) prin comutator (de obicei automat), de la două surse separate.

Calculul instalaţiilor electrice, se completează cu lista echipamentului electric, a materialelor electrice, a manoperei, a transporturilor (şi a altor prevederi de natură contabilă), în scopul determinării costului instalaţiei de alimentare.

După executarea instalaţiilor, se face verificarea şi recepţionarea, în scopul punerii lor în funcţie.

Scanned with OKEN Scanner

II.

MAȘINI DE CONSTRUCȚII

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL IX

NOȚIUNI INTRODUCTIVE

9.1. IMPORTANȚA MECANIZĂRII ÎN CONSTRUCȚII

Dezvoltarea rapidă și ritmică a economiei socialiste a țării noastre, este condiționată de importante lucrări de construcții industriale, agricole și civile.

Realizarea marilor obiective din domeniul construcțiilor, în conformitate cu Directivele Congresului al X-lea al P.C.R., impun mărirea gradului de mecanizare, al automatizărilor simple și complexe, în lucrările de construcții.

Baza materială necesară în domeniul construcțiilor, trebuie să asigure realizarea volumului sporit de construcții, în condițiile intensificării procesului de industrializare a lucrărilor, de extindere a folosirii prefabricatelor și materialelor locale, și de utilizare rațională a resurselor energetice, în vederea obținerii unor indici tehnico-economici și de calitate, optime, cu o productivitate a muncii maximă și un preț de cost minim.

Menționăm că, în expunerea materialului cuprins în curs, nu s-a urmărit demonstrarea relațiilor matematice; ele au fost redate astfel încît să poată fi folosite la calculele legate de lucrările de organizare a șantierelor și de exploatarea mașinilor de construcții, care constituie aspectele principale specifice acestui curs.

9.2. NOȚIUNI GENERALE

Utilajele de construcții sînt mașini de lucru, destinate efectuării unor procese tehnologice. Din acest punct de vedere, ele se pot clasifica astfel: mașini și instalații de transport; mașini pentru încărcat și descărcat; mașini de ridicat; mașini pentru lucrări de terasamente; utilaje pentru lucrări de hidromecanizare; mașini de compactat; mașini de fundații; mașini de forat: mașini de concasat, sortat și spălat materiale; mașini pentru pregătirea amestecurilor; mașini pentru pregătirea armăturilor; mașini pentru pregătirea cofrajelor și a lucrărilor de dulgherie; mașini pentru lucrări de finisare; instrumente și dispozitive pneumatice; mijloace de punere în operă a betonului.

Scanned with OKEN Scanner

Principalele părți ale mașinilor de construcții sînt următoarele: organul de lucru prin care se execută, în mod nemijlocit, operația tehnologică; organele de deplasare a mașinii; instalația de forță, necesară pentru punerea în mișcare a elementelor mobile ale mașinii; mecanismul de transmisie, care leagă instalația de forță cu organele de lucru și de deplasare a mașinii; mecanismele de comandă pentru cuplarea și decuplarea diferitelor mecanisme ale mașinii; instalații anexe (iluminat, de siguranță, de semnalizare etc).

Una din caracteristicile importante ale mașinilor de construcții, este productivitatea, reprezentată prin producția în unitatea de timp, exprimată în unitățile de măsură aferente (m, m², m³ tone etc.); și care prezintă un aspect tehnic și unul de exploatare, de care trebuie să se țină seama la utilizarea mașinilor.

Productivitatea tehnică P_t, este productivitatea maximă, pe oră, obținută la funcționarea normală, neîntreruptă, a mașinii, în condiții concrete de lucru.

Productivitatea de exploatare se calculează pe schimb P_s sau pe an P_a, ținîndu-se seama de întreruperile din perioada respectivă, impuse de motive cu caracter tehnologic (deplasarea mașinii, pregătirea locului de muncă etc.), funcțional-constructiv (pornirea mașinii, ungerea mașinii etc.), de calificare a personalului de deservire (exploatarea rațională, întreținerea reglementară etc.) sau de organizare a șantierului (alimentare cu energie etc.).

Între cele două productivități există relațiile:

$$P_s = P_t \cdot n_s\,;\; P_a = P_t \cdot n_a \tag{9.1.1}$$

în care n_s și n_a, reprezintă numărul orelor lucrate pe schimb sau pe an (în general, pe perioada de calcul a productivității).

Productivitatea tehnică se calculează cu relații și metode specifice diferitelor tipuri de mașini și procese tehnologice (urmînd a se indica, în măsura posibilităților, la capitolele respective).

Siguranța în exploatare a mașinilor de construcții și a organelor lor componente se obține pe baza unui complex de criterii constructive și de exploatare, dintre care le amintim pe următoarele: rezistența mecanică a părților componente a mașinii, la solicitări statice sau dinamice; rigiditatea mașinii față de forțele de deformare; stabilitatea; rezistența la uzură; rezistența la temperatură; rezistența la vibrații; calitatea materialelor folosite la construcția mașinii; calitatea prelucrării pieselor componente precum și a tratamentelor la care acestea sînt supuse; modul de exploatare și întreținere a mașinii; respectarea normelor de tehnica securității muncii.

Pentru mărirea productivității muncii și a siguranței în exploatare, prezintă mare importanță folosirea personalului calificat și a metodelor științifice de lucru.

Pentru alimentarea cu energie, acționarea mașinilor de lucru sau executarea unor lucrări, în domeniul construcțiilor se folosesc o serie de mașini de

forţă. Acestea, după principiul funcţional, se pot clasifica astfel: maşini hidraulice şi pneumatice; maşini termice; maşini electrice.

După principiul constructiv, se poate face următoarea clasificare: cazane (generatoare de abur); maşini de forţă cu organe mobile cu deplasare liniară (cu abur cu piston, cu ardere internă, pompe cu piston, compresoare cu piston, electromagneţi etc. Menţionăm că majoritatea acestor maşini, au dispozitive de transformare a mişcării de translaţie în mişcare de rotaţie); maşini de forţă rotative (turbine cu abur; turbine hidraulice; pompe centrifugale hidraulice; pompe cu palete; pompe cu angrenaje; ventilatoare; motoare electrice; generatoare electrice etc.).

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL X

NOȚIUNI PRIVIND PRINCIPALELE ORGANE DE MAȘINI

10.1. NOȚIUNI GENERALE

Organele de mașini reprezentă cele mai simple componente ale mașinilor și utilajelor, care prin îmbinare, formează subansambluri. Diferitele organe sînt asemănătoare la majoritatea mașinilor. Pentru a putea fi utilizate, ele trebuie să satisfacă cerințele impuse de siguranța în exploatare (v. Cap. 9).

În baza criteriilor enunțate se alege materialul (fontă, oțel, aliaje neferoase) necesar realizării unui anumit organ.

O dimensiune nu poate fi măsurată și executată cu precizie matematică. O piesă sau un organ funcționează foarte bine dacă fiecare din dimensiunile sale se încadrează între două limite, maximă și minimă. Diferența dintre acestea reprezintă toleranța T. Cîmpul de toleranțe se stabilește prin indicarea dimensiunii nominale N, a abaterii superioare A_s și a abaterii inferioare A_i sub forma $N^{A_s}_{A_i}$. Pentru ordonarea toleranțelor se folosesc 10 clase de precizie (clasa 1 fiind cea mai precisă). Din acestea primele 7 se referă la organe de mașini care se îmbină, iar ultimele trei la dimensiunile libere.

10.2. ORGANE DE MAȘINI DE ASAMBLARE FIXE ȘI DEMONTABILE

Organele de asamblare servesc la îmbinarea diferitelor piese sau subansambluri, în ansambluri, sau a ansamblurilor în mașini. Se realizează astfel asamblări domontabile (pene, șuruburi) sau nedemontabile (sudură, nituiri).

Penele realizează îmbinarea a două organe de mașini obținîndu-se o fixare propriu-zisă, sau o reglare a poziției dintre cele două organe.

Penele transversale se montează perpendicular pe axa geometrică a celor două piese (fig. 10.2.1). Asigurarea contra desfacerii se face prin autoblocarea penei în locaș.

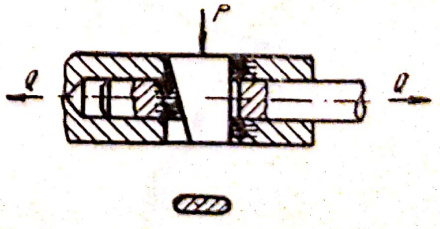


Fig. 10.2.1. Pană transversală.

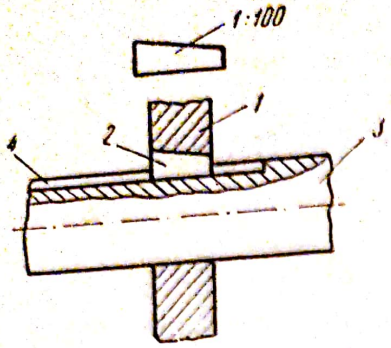


Fig. 10.2.2. Pană longitudinală.

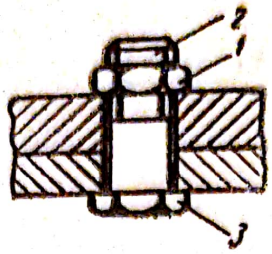


Fig. 10.2.3. Îmbinarea cu șurub și piuliță:
1 — piuliță; *2* — tijă filetată; *3* — capacul șurubului.

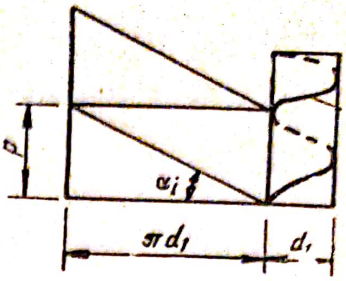


Fig. 10.2.4. Formarea filetului:
1 — elice directoare.

Penele longitudinale (fig. 10.2.2) sînt așezate paralel cu axa longitudinală a celor două piese asamblate (arbore și butuc). Penele sînt standardizate, dimensiunile lor fiind întabulate, proiectantul verificînd doar dacă îmbinarea cu pene poate transmite momentul de torsiune dorit.

Îmbinarea cu șurub și piuliță (fig. 10.2.3) poate fi explicată prin similitudine cu acțiunea unei pene. Filetul șurubului se realizează prin alunecarea unui profil (triunghiular, pătrat, trapezoidal) de-a lungul unei elice, aflată pe un cilindru (fig. 10.2.4). În realitate are loc desfășurarea a trei cilindri (fig. 10.2.5) corespunzători diametrului exterior d, interior d_1 și mediu d_2, obținîndu-se unghiuri de înclinare diferite, dar același pas p:

$$p = \pi d \ \operatorname{tg}\alpha_e = \pi\, d_2 \ \operatorname{tg}\ \alpha_m = \pi d_1 \operatorname{tg}\ \alpha_i \qquad (10.2.1)$$

Pentru calculul solicitărilor, se presupune ipoteza simplificatoare a repartizării uniforme radiale a sarcinii pe fiecare spiră a șurubului (fig. 10.2.6). Considerînd P forța aplicată și Q sarcina, problema se reduce la studiul mișcării uniforme pe un plan înclinat cu un unghi α (fig. 10.2.7).

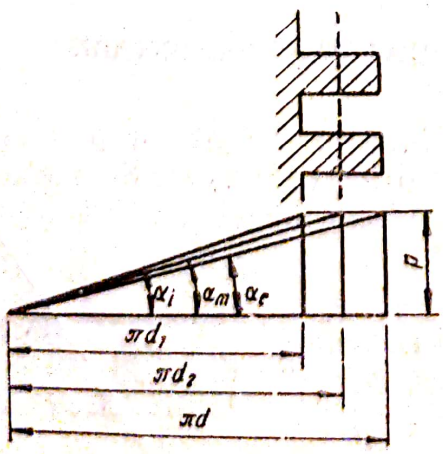


Fig. 10.2.5. Desfășurătoarea filetului.

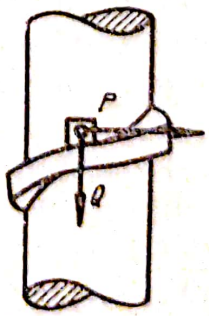


Fig. 10.2.6. Repartizarea sarcinii pe spira șurubului.

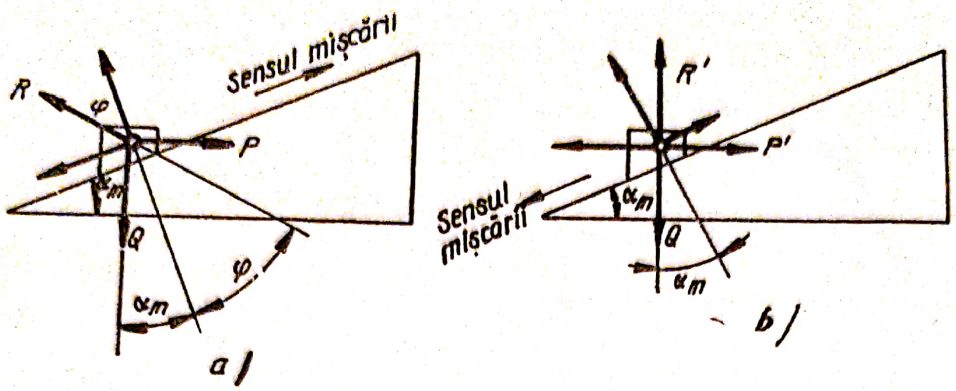


Fig. 10.2.7. Reducerea studiului solicitărilor la un plan înclinat.

Se deduc imediat relațiile

$$P = Q \operatorname{tg} (\alpha_m + \varphi) \tag{10.2.2}$$

la mișcarea uniformă în sus, și

$$P' = Q \operatorname{tg} (\alpha_m - \varphi) \tag{10.2.3}$$

în cazul mișcării uniforme în jos (unde φ este unghiul de frecare).

În cel de al doilea caz se poate întîlni una din următoarele situații:

$\alpha_m > \varphi$ deci $P' > 0$, va reprezenta forța de reținere
$\alpha_m = \varphi$ $P' = 0$, coborîre uniformă sub propria greutate
$\alpha_m < \varphi$ deci $P' < 0$, conduce la autoblocare, ceea ce va împiedica coborîrea sarcinii Q, indiferent de mărimea acesteia, pînă nu se aplică forța P' care să tragă sarcina în jos (cricurile funcționează pe principiul autoblocării).

Randamentul unei îmbinări cu șurub este dată de relația

$$\eta = \frac{L_u}{L_c} = \frac{Qp}{P\pi d_2} \tag{10.2.4}$$

unde avem: L_u lucrul mecanic util; L_c lucrul mecanic consumat.

Referindu-ne la figura 10.2.7 rezultă imediat

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha_m}{\operatorname{tg}(\alpha_m + \varphi)} \tag{10.2.5}$$

Randamentul este nul pentru $\alpha_m = 0$ și $\alpha_m = 90° - \varphi$, valori care se evită. Întrucît $\eta = \eta_{max}$ pentru $d\eta/d\alpha_m = 0$ se obține valoarea randamentului maxim la

$$\alpha_m = 45° - \frac{\varphi}{2} \tag{10.2.6}$$

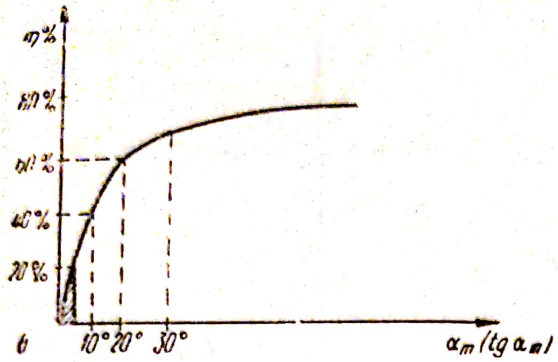


Fig. 10.2.8. Caracteristica randamentului îmbinării cu şuruburi.

şuruburile se execută cu unghiuri avînd valori sub 10°, ceea ce conduce la randamente scăzute (zona haşurată în fig. 10.2.8). Calculul îmbinărilor cu şuruburi se face, presupunînd anumite ipoteze simplificatoare: forţa ce solicită îmbinarea lucrează în sens axial; sarcina se repartizează uniform pe o anumită spiră.

Dintre relaţiile stabilite în urma calculelor se amintesc

a) solicitarea la tracţiune

$$Q = \frac{\pi d_1^2}{4}\,\sigma_t \tag{10.2.7}$$

unde σ_t este rezistenţa specifică la tracţiune (kgf/cm²) iar d este diametrul şurubului (cm²); rezultă

$$\sigma_t = \frac{4Q}{\pi d_1^2} \leqslant \sigma_{at} \tag{10.2.8}$$

b) solicitarea la strivirea suprafeţelor filate

$$Q = \frac{\pi}{4}\,(d^2 - d_1^2)Z\;\sigma_c \tag{10.2.9}$$

Z fiind numărul de spire care vin în contact cu piuliţa, rezultă

$$Z = \frac{4Q}{(d^2 - d_1^2)\,\sigma_{ac}} \tag{10.2.10}$$

c) momentul care roteşte piuliţa are două componente: M_1, momentul necesar pentru ridicarea sarcinii şi învingerea frecării şurub-piuliţă; M_2, momentul necesar pentru învingerea frecărilor între piuliţă şi suprafaţa exterioară de sprijin.

În urma calculelor se obţine expresia momentului total

$$M_t = M_1 + M_2 = 0{,}19\;\; d_1\;\; Q \tag{10.2.11}$$

Datorită vibraţiilor, suprafeţele de contact şurub-piuliţă se desprind, anulînd efectul autoblocării. Pentru asigurarea îmbinărilor contra desfa-

Scanned with OKEN Scanner

cerii se folosesc : pivoți crenelați, avînd introdus un cui spintecat, printr-una din crestături, inele elastice (șaibe) pentru împiedicarea desfacerii îmbinării.

10.3. ORGANELE MIȘCĂRII DE ROTAȚIE

Osiile sînt organe de mașini folosite pentru susținerea unor piese în mișcare de rotație, fără a transmite momente de torsiune utile. Osiile pot fi fixe (scripeți) sau mobile (vagoane). Se execută din materiale variate (lemn, oțel fonte) și de obicei nu au o secțiune constantă, folosindu-se forme apropiate de grinda de egală rezistență (fig. 10.3.1)

$$M_i = \frac{Pl}{4} = \sigma_{ai} W_i \frac{\pi d_1^3}{32} \qquad (10.3.1)$$

de unde rezultă diametrul ariei

$$d_1 = \sqrt{\frac{32M_i}{\pi\sigma_{ai}}} \qquad (10.3.2)$$

M_i, este momentul încovoietor ; P — sarcina pe osie ; l — lungimea osiei ; σ_{ai} — rezistența admisibilă la încovoiere ; W_i — modulul de rezistență.

Arborii sînt organe de mașini destinați transmiterii momentelor de torsiune, concomitent cu susținerea organelor montate pe ei (șaibe de transmisie, roți dințate, roți de curea). Constructiv, arborii pot fi drepți și cotiți (fig. 10.3.2). Se execută din lemn, oțeluri de calitate, fonte nodulare etc).

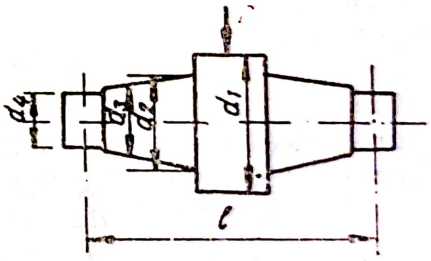


Fig. 10.3.1. Osie.

Considerînd doar solicitatarea la răsucire, momentul de torsiune M_t va fi

$$M_t = 71.620 \frac{N}{\eta} \qquad (10.3.3)$$

unde N este puterea, dată în HP și n turația, în rotații pe minut.

Cunoscînd, pe de altă parte, că

$$M_t = \tau_{at} \cdot W_p \text{ și } W_p = \frac{\pi d^3}{16} \qquad (10.3.4)$$

se ajunge la relația care dă diametrul arborelui

$$d = \sqrt[3]{\frac{16Mt}{\pi\tau_{at}}} \qquad (10.3.5)$$

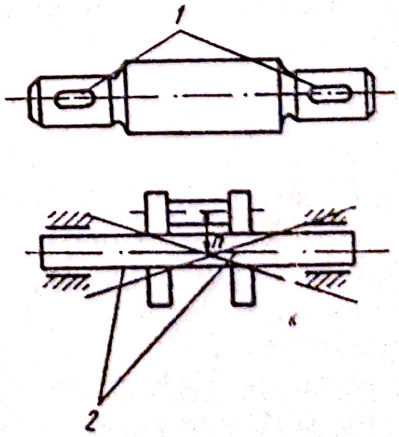


Fig. 10.3.2. Arbore : 1 — canal de pană.

τ_{at} este rezistența admisibilă la forfecare (tăiere) ; W_p — modulul de rezistență polar.

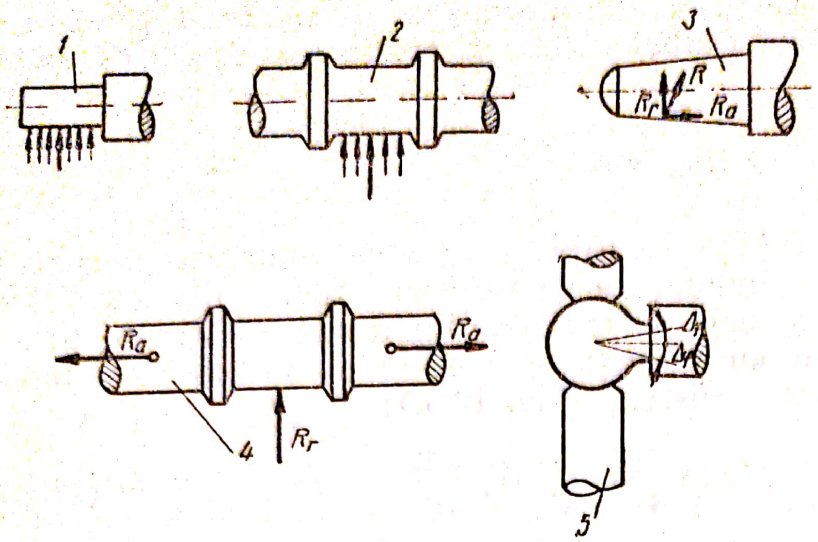


Fig. 10.3.3. Fusuri:
1 — fus cilindric de capăt; *2* — fus intermediar; *3* — fus conic; *4* — fus canelat; *5* — fus sferic.

Dacă apare și solicitarea la încovoiere, calculul solicitării compuse se bazează pe stabilirea unui moment de încovoiere M_i

$$M_i = \sqrt{M_0^2 + M_v^2} \tag{10.3.6}$$

M_0 fiind componenta orizontală, M_v cea verticală; și apoi a unui moment redus

$$M_{red} = \sqrt{M_i^2 + \alpha(M_t)^2} \tag{10.3.7}$$

unde, prin coeficientul α, se ține seama de inexactitatea datorită presupunerii făcute că legea de variație a momentului încovoietor este aceeași cu a momentului de torsiune

$$M_{red} = \sigma_{ai} W_i = \sigma_{ai} \frac{\pi d^3}{32} \tag{10.3.8}$$

de unde rezultă diametrul

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 M_{red}}{\pi \sigma_{ai}}} \tag{10.3.9}$$

Fusurile (fig. 10.3.3) sînt organe de mașini prin intermediul cărora arborii sau osiile se sprijină în lagăr. După destinație se împart în fusuri de capăt și intermediare, iar după formă, în fusuri cilindrice (nu preiau forțe axiale), conice (preiau ușoare forțe axiale) și sferice (pot executa și mășcări mai complicate).

Fusurile sînt executate din același material cu arborele, supunîndu-se unor tratamente speciale suplimentare, pentru a li se da o mare duritate. Suprafața fusului trebuie să aibă un grad înalt de prelucrare (joc mai mic ca 1/1000).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru dimensionarea fusului se fac următoarele calcule:
— verificarea la încovoiere (l, fiind lungimea fusului)

$$M_i = P\frac{l}{2} = \frac{\pi d^3}{32}\sigma_{ai} \qquad (10.3.10)$$

de unde rezultă diametrul fusului

$$d = \sqrt[3]{\frac{16Pl}{\pi\sigma_{ai}}} \qquad (10.3.11)$$

— verificarea la presiunea specifică pe suprafața de sprijin (p_a fiind presiunea specifică admisibilă)

$$p = \frac{P}{d \cdot l} = \frac{\pi}{16}\left(\frac{d}{l}\right)^2 \sigma_{ai} \leqslant p_a \qquad (10.3.12)$$

de unde rezultă raportul între lungimea și diametrul fusului

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\frac{\sigma_{ai}}{5p_a}} \qquad (10.3.13)$$

— verificarea la încălzire (v fiind viteza periferică a fusului)

$$p \cdot r \leqslant (p \cdot r) \text{ admisibil} \qquad (10.3.14)$$

În timpul funcționării, prin frecarea fusului cu lagărul, apar pierderi care consumă o parte din energie utilă. În ipoteza în care puterea utilă se transformă integral în căldură, cuzinetul se poate topi, oprind mașina din funcționare.

Pivoții (fig. 10.3.4) reprezintă organele de mașini prin care arborii se sprijină în lagăre axiale (crapodină). Sînt confecționați de obicei din același material cu arborele, cu o prelucrare mai fină, în scopul evitării pierderilor prin frecare. Presupunînd contactul realizat pe întreaga suprafață a crapodinei (r fiind raza pivotului și p_{med} presiunea specifică medie admisibilă), sarcina este

$$P = \pi r^2 p_{med}. \qquad (10.3.15)$$

După un anumit timp, uzura modifică repartizarea presiunilor dintre cele două suprafețe. Expresia uzurii este dată de relația

$$v = kupv \qquad (10.3.16)$$

unde K este coeficient de proporționalitate, u coeficient de frecare, și v viteza de rotație.

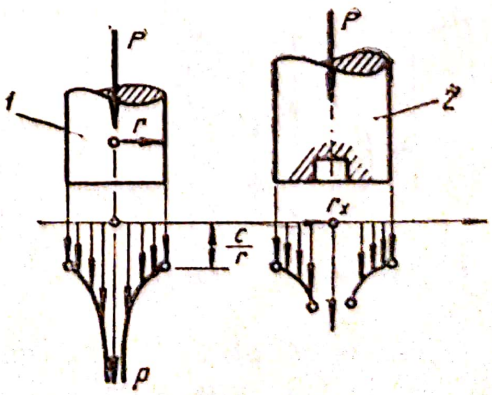


Fig. 10.3.4. Pivoți:
1 — pivot obișnuit; 2 — pivot inelar.

Verificarea la presiunea specifică şi la încălzire se face cu relaţiile

$$p_m < p_a \qquad (10.3.17)$$

$$p_m v_m < (p_m v_m) \text{ admisibil} \qquad (10.3.18)$$

Între două organe care vin în contact în timpul mişcării, intervine frecarea. Frecarea poate fi privită ca interpătrunderea asperităţilor suprafeţelor în contact, provocînd uzuri ce modifică dimensiunile iniţiale. Obişnuit între cele două suprafeţe în contact se interpune un strat de lubrefiant, care nu permite contactul direct al acesteia.

Lubrifiantul folosit trebuie să îndeplinească următoarele condiţii: filmul să nu se întrerupă; corpul A trebuie să plutească deasupra stratului de lubrifiant fără a intra în contact cu corpul B; să nu conţină apă, acizi corosivi; să aibă stabilitate termică; să aibă vîscozitatea prescrisă şi aderenţa corespunzătoare.

Substanţele folosite la ungere sînt uleiurile şi unsorile. Uleiurile sînt vegetale, animale sau minerale. Sînt lichide cu bune proprietăţi de onctuozitate şi adeziune. Se clasifică în: Grupa A (folosite uzual); Grupa B (au în plus o rezistenţă ridicată la temperatură, utilizîndu-se la ungerea cilindrilor); Grupa C (uleiuri speciale de transformator).

Unsorile consistente reprezintă dispersiuni coloidale de săpunuri în uleiuri minerale. Se prezintă sub formă semilichidă sau păstoasă, cu bune proprietăţi de onctuozitate şi ungere. Se folosesc obişnuit în ungerea rulmenţilor.

Aducerea uleiurilor în locurile de ungere se face prin dispozitive de ungere şi anume: prin picurare; prin inele de ungere (uleiul este luat din baia de ulei); baleiere (împroşcarea uleiului din baie); ungerea forţată (sub presiune cu pompă sau roţi dinţate).

Lagărele se clasifică, în funcţie de felul frecării fus-lagăr, în lagăre de alunecare şi lagăre de rostogolire (rulmenţi).

Lagărele de alunecare folosesc la susţinerea osiilor şi arborilor, funcţie de direcţie principială a efortului transmis. Se împart în: lagăre radiale; lagăre axiale (crapodine); lagăre radial-axiale (reacţiunea are două componente). Partea principală a unui lagăr este cuzinetul, organul care vine în contact cu fusul. Cuzinetul trebuie să aibă o rezistenţă ridicată la uzură şi încălzire, antifricţiune bună. Cuzineţii se fac din bronz, fontă, compoziţii de antifricţiune pe bază de Sn, Pb, etc.

În figura 10.3.5 se reprezintă un lagăr de alunecare cu cuzinet fix. Se

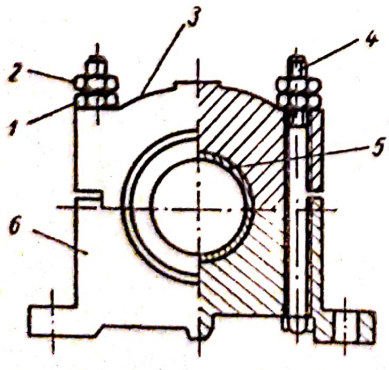


Fig. 10.3.5. Lagăr:
1 — piuliţă; *2* — contra piuliţă; *3* — capac; *4* — şurub de strîngere; *5* — cuzinet; *6* — partea inferioară a lagărului.

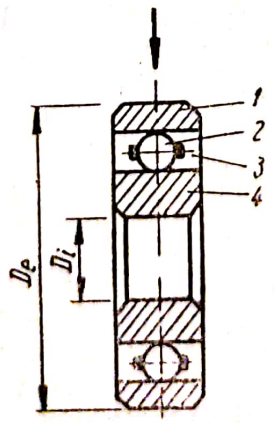


Fig. 10.3.6. Rulment:
1 — inel exterior; *2* — corp de rulare; *3* — colivie; *4* — inel interior.

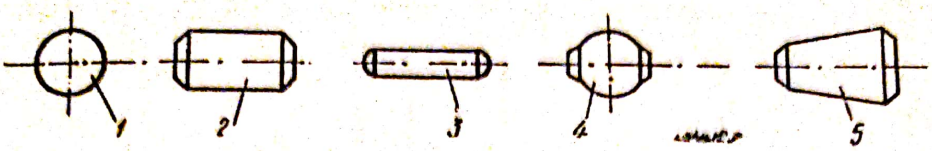


Fig. 10.3.7. Corpurile de rulare ale rulmenților:
1 — bilă; *2* — rolă; *3* — ac; *4* — butoiaș; *5* — rolă conică.

asigură un joc necesar ungerii hidrodinamice. Lagărul nu se calculează ci se verifică, dacă îndeplinește următoarele condiții: să permită o funcționare cu pierderi minime de energie; să prezinte rezistență mecanică la solicitările capacului și a corpului lagărului.

Rulmenții (fig. 10.3.6) sînt lagăre care transformă frecarea la alunecare în frecare de rostogolire, cu avantajul unei întreținere simple, randamentul ridicat, posibilitatea înlocuirii lesnicioase.

Dintre dezavantaje se amintesc mărirea gabaritului în sens radial, necesitatea unei prelucrări cu o mare precizie a lăcașului în care se introduc (statistic cca 70% din rulmenții distruși se datoresc montărilor greșite). Ca și lagărele de alunecare, rulmenții pot prelua sarcina radiale, axiale sau radial axiale. Corpurile de rulare (fig. 10.3.7) pot fi cu bile, role, ace, conice sau sub formă de butoiaș. Transformarea frecării de lunecare în frecare de rostogolire, se realizează prin fixarea inelului interior pe fus, iar a celui exterior pe o carcasă specială, intre inele rostogolindu-se corpurile de rulare pe două căi. Rulmenții au o durată de funcționare mai redusă ca a lagărelor de alunecare și o rezistență la șoc redusă. La montarea rulmenților nu se folosește ciocanul, ei o țeavă de introducere a rulmentului. Se execută din materiale speciale pentru rulmenți (oțeluri cu aliaje de crom și mangan) și sînt standardizați.

Rulmenții sînt standardizați, ei se aleg îndeosebi după experiențe proprie. Capacitatea portantă a rulmentului, se calculează cu formula:

$$C = P(nh)^{0,3} \qquad (10.3.19)$$

unde: P este forța radială ce solicită rulmentul; n turația fusului în rot/min; h — durata de serviciu în ore, de la o reparație la alta.

10.4 ORGANELE PENTRU TRANSMITEREA MIȘCĂRII DE ROTAȚIE

Cuplajele sînt organe de mașini care realizează o legătură dintre doi arbori în scopul transmiterii unui moment de torsiune, clasificîndu-se în: permanente (fixe sau mobile); intermitente (ambreiaj); de siguranță (intră în acțiune la depășirea turației maxime).

În figura 10.4.1, se arată forma unui cuplaj fix cu manșon din două bucăți. În urma montării, arborii se leagă rigid unul de altul.

Cuplajul cardanic (fig. 10.4.2) este folosit la transmiterea mișcărilor de rotație între axe ce se intersectează. Se compune dintr-o furcă montată pe

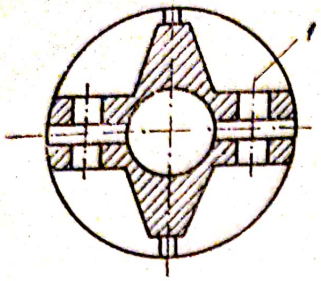


Fig. 10.4.1. Cuplaj fix cu manşon :
1 — şurub de strîngere.

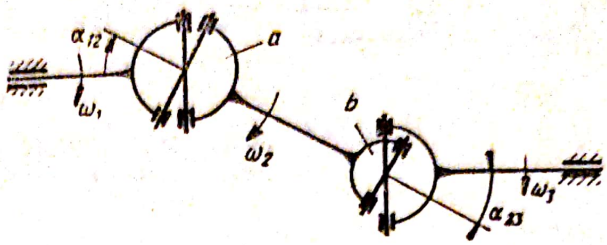


Fig. 10.4.2. Cuplaj cardanic.

arborele 1 şi o a doua furcă montată pe arborele 2. Cele două furci sînt articulate pe crucea cardanică. Între vitezele unghiulare ω_1 şi ω_2, există relaţia

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{\cos \alpha_{12}}{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \alpha_{12}} \qquad (10.4.1)$$

unde φ_1 reprezintă unghiul de rotaţie al arborelui 1.

Întrucît pentru obţinerea lui ω_1 constant, vom avea la arborele 2, ω_2 neuniform, se introduce o cuplă compensatoare. Compensarea se realizează dacă $\alpha_{12} = \alpha_{23}$, ceea ce impune furcilor a fi în acelaşi plan.

Cuplajele de ambreiere şi debreiere, realizează oprirea unui arbore, fără oprirea motorului. Se clasifică în : cuplaje comandate în general de o pîrghie ; cuplaje automate (realizează întreruperea cuplajului la o anumită turaţie a motorului cu ajutorul unei mase centrifugale) ; cuplaje de siguranţă (calculate a se desface la limita depăşirii vitezei) ; cuplaje de cursă lungă (asigură transmiterea mişcării de rotaţie într-un singur sens) ; cuplaje electromagnetice cuplaje pneumatice cu anvelopă.

La cuplajul cu fricţiune, numit şi ambreiaj cu fricţiune, (figura 10.4.3) cuplarea se face cu ajutorul unei pîrghii P, care se deplasează în sens axial. Contactul se face pe o suprafaţă inelară. Datorită diferenţei de turaţie dintre arborii 1 şi 2, între suprafeţele de contact există o alunecare. Momentul de frecare este exprimat prin relaţia

$$M_f = \mu Q R_m > k M_f \qquad (10.4.2)$$

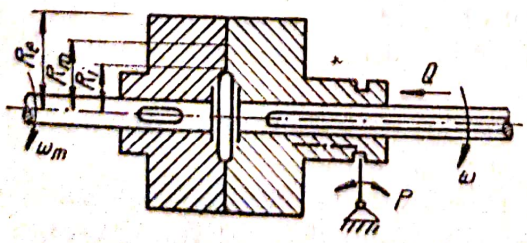


Fig. 10.4.3. Cuplaj cu fricţiune.

k fiind denumit coeficient de regim iar μ, coeficient de frecare; mărimea

$$R_m = \frac{R_e + R_i}{2} \tag{10.4.3}$$

este raza medie. Suprafețele în contact trebuie să aibă proprietăți bune de antifricțiune și o rezistență termică ridicată.

Transmisiile prin curele (fig. 10.4.4) sînt folosite la transmiterea mișcărilor de rotație la distanțe mici sau medii, realizîndu-se un anumit raport de transmisie.

Ele sînt formate din: roata conductoare, roata condusă și cureaua fără sfîrșit, care înfășoară cele două roți de transmisie; forma acestora este trapezoidală sau lată.

Curelele sînt executate din piele, cauciuc sau împletituri din materiale textile rezistente. Avantajele transmisiilor prin curele, constau într-un mers liniștit, lipsa șocurilor la suprasarcină, și posibilitatea folosirii la turații relativ ridicate. În schimb gabaritul mare, imposibilitatea asigurării unui raport de transmitere constant și alungirea în timp, constituie principalele dezavantaje.

Pentru dimensionarea unei transmisii prin curele late, trebuie cunoscute puterea transmisă N, cele două turații n_1, n_2, distanța axială A, și condițiile de exploatare, calculîndu-se raportul de transmitere i_{12}, diametrul șaibei mici D_1, viteza curelei v și diametrul șaibei mari D_2: ($\varepsilon \approx 0{,}01$ este coeficientul de frecare la alunecare)

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} \tag{10.4.4}$$

$$D_1 = (1000 \ldots 1200)\sqrt[3]{\frac{N}{n_1}} \qquad [\text{mm}] \tag{10.4.5}$$

$$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60} \qquad [\text{m/s}] \tag{10.4.6}$$

$$D_2 = (1 - \varepsilon) i_{12} D_1 \tag{10.4.7}$$

Pentru o funcționare corectă, unghiul de înfășurare va fi $\beta > 150°$ (fig. 10.4.4). Dacă această condiție nu este respectată, se schimbă diametrul șaibei mici, sau se introduce un dispozitiv de întindere.

Calculele curelelor trapezoidale sînt asemănătoare, condiția impusă unghiului fiind $\beta > 120°$. Forța de frecare reprezintă elementul activ de legătură dintre organul de lucru și roata respectivă. Momentul transmis este proporțional cu valoarea forței de frecare. Întrucît forța de frecare crește cu unghiul de înfășurare avem interesul să măsurăm acest unghi prin: dispozitive de întindere continuă, sau prin șurub; folosirea unor contragreutăți pentru deplasarea arborelui mort.

Transmisiile prin lanț (fig. 10.4.5) se realizează prin angrenarea zalelor lanțului în dinții roților pentru lanț, transmițînd astfel momentul de torsiune util de la un arbore la celălalt.

Scanned with OKEN Scanner

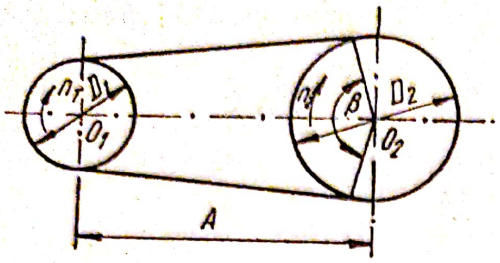


Fig. 10.4.4. Transmisie prin curele.

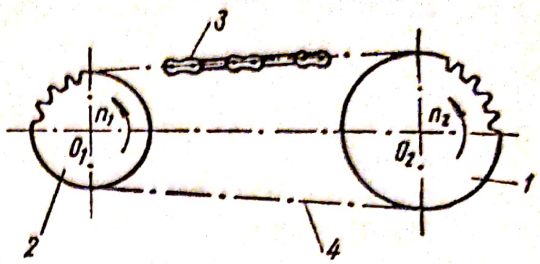


Fig. 10.4.5. Transmisie prin lanţ:
1 — roată condusă; *2* — roată conducătoare; *3* — zale; *4* — lanţ.

Avantajele transmisiilor prin lanţ sînt următoarele: gabarit relativ redus; lipsa alunecărilor; randamentul ridicat al transmisiei; posibilităţi uşoare de înlocuire.

Dezavantajele sînt următoarele: uzura mare a lanţului; funcţionare zgomotoasă; viteze relativ reduse; neuniformitatea mişcării lanţului.

Zalele, elementele componente ale lanţurilor, pot avea diferite forme în funcţie de utilizare.

Zalele ovale sînt folosite la ridicări, coborîri, susţineri de sarcini importante şi viteze relativ scăzute (sub 0,25 m/s).

Pentru tracţiune sînt folosite lanţurile Galle. Sînt realizate din eclise egal distanţate, numărul lor depinzînd de valoarea sarcinii care trebuie antrenată (sarcini medii şi viteze de 2...4 m/s).

Pentru sarcini mici la viteze mari sînt folosite lanţuri cu bucşe şi role. Lanţurile se ung cu unsori consistente şi se feresc de praf şi impurităţi; viteza medie este dată de relaţia

$$v = \frac{pZn}{60} \tag{10.4.8}$$

iar raportul de transmisie

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_1}{z_2} \tag{10.4.9}$$

unde p este pasul lanţului, n_1, n_2 şi z_1, z_2 turaţiile, respectiv numărul dinţilor pentru cele două roţi. Prin creşterea pasului, capacitatea portantă se măreşte, dar cresc totodată uzura, zgomotul şi şocurile. Aceasta conduce la alegerea pasului minim admisibil care se ia din tabele.

Lanţurile folosite la ridicări şi coborîri, se verifică la întinderea forţa de calcul fiind dată de relaţia

$$P_c = 2\frac{\pi d^2}{4}\sigma_{at} \tag{10.4.10}$$

unde d este diametrul zalei.

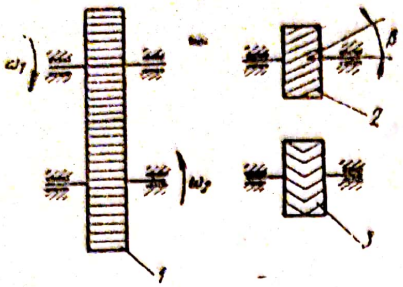


Fig. 10.4.6. Angrenaje cu axe paralele:
1 – dinți drepți; *2* – dinți înclinați; *3* – dinți în U.

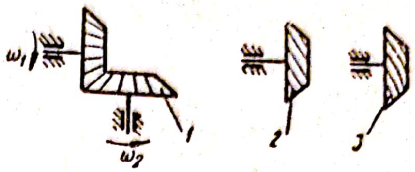


Fig. 10.4.7. Angrenaje cu axe intersectate:
1 – dantură dreaptă; *2* – dantură înclinată; *3* – dantură curbă.

Roțile pentru lanț sînt construite din materiale de calitate superioară, rezistente la uzură, deoarece contactul dintre roată și lanț se face prin loviri.

Angenajele sînt mecanisme formate din două roți dințate, cu ajutorul cărora se asigură transmiterea unor momente de torsiune de la un arbore la celălalt. Funcție de poziția axelor, angrenajele sînt: cu axe paralele (arborii angrenați sînt paraleli) se folosesc roți dințate cilindrice (cu dinți drepți, înclinați sau V fig. 10.4.6); cu axe intersectate (conice), se folosesc roți dințate conice (fig. 10.4.7); cu axe încrucișate (melcate) se folosesc angrenaje elicoidale (fig. 10.4.8); cremaliere (transformă mișcarea de rotație în mișcare de translație) (fig. 10.4.9);

În figura (10.4.10) se prezintă o roată cu dinți drepți, la care deosebim: R_i – raza interioară; R_d – raza de divizare (împarte distanța dintre capul *a* și piciorul dintelui *b)*; R_e – raza cercului exterior; a – înălțimea capului; b – înălțimea piciorului dintelui; $h = a + b$ înălțimea totală a dintelui; S_d – grosimea dintelui măsurată pe cercul de divizare; S_g – golul dintelui măsurat pe cercul de divizare; $p = S_d + S_g$ pasul dintelui.

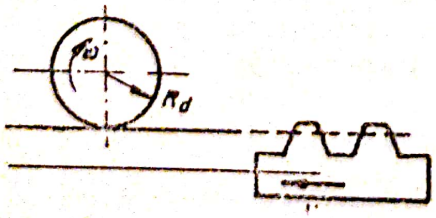


Fig. 10.4.8. Angrenaj cu axe încrucișate.

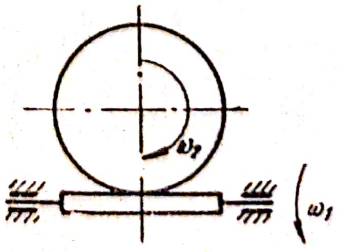


Fig. 10.4.9. Cremaliera.

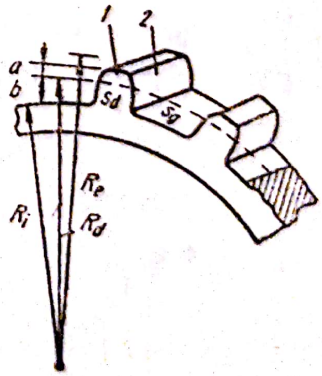


Fig. 10.4.10. Roată cu dinți:
1 – profil; *2* – flancul dintelui.

Cunoscînd numărul dinților și, pasul dintelui, se termină diametrul de divizare D_d

$$D_d = \frac{p}{\pi} Z = mZ \tag{10.4.11}$$

unde

$$\frac{p}{\pi} = m \tag{10.4.12}$$

este denumit modul al dinților (standardizat cu valori între 0,1—0,3···50 mm). Considerînd că roțile angrenate vin în contact pe cercul de divizare D_d, distanța dintre axele roților este

$$A = \frac{D_{d_1} + D_{d_2}}{2} = m\frac{Z_1 + Z_2}{2} \tag{10.4.13}$$

Întrucît cele două roți dințate se rotesc în jurul celor două centre fixe, unde cercurile de divizare vin în contact, rezultă viteze de mișcare egale ($V_1 = V_2$), de unde rezultă raportul de transmisie

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \text{const.} \tag{10.4.14}$$

Această relație exprimă legea fundamentală a angrenării, formulată astfel pentru a păstra un raport de transmitere strict constant este necesar ca normala comună adusă în punctul de contact al celor două curbe înfășurătoare să treacă prin același punct fix numit punct principal al angrenării.

Calculul la încovoiere al roților dințate cu dinți drepți se face în următoarele ipoteze (fig. 10.4.11) : întreaga sarcină este preluată de o singură pereche de dinți ; se consideră cazul cel mai defavorabil în care sarcina Q lucrează pe muchia exterioară a dintelui încît brațul de pîrghie este maxim ; se neglijează frecarea dintre profile (sarcina Q lucrează de-a lungul liniei de angrenare).

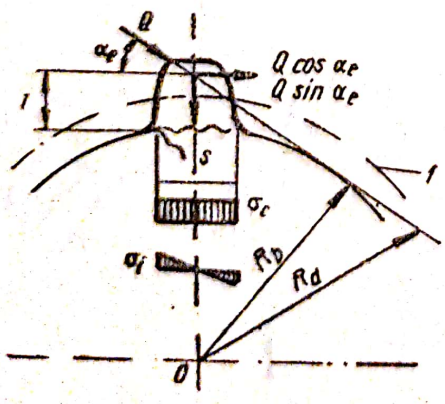


Fig. 10.4.11. Calculul la încovoiere al dintelui :
1 — linia de angrenare.

În urma calculelor se ajunge la stabilirea rezistenței σ_{tot} care comparată cu cea admisibilă σ_a, ajută la stabilirea modulului m (Q fiind sarcina)

$$\sigma_{tot} = \frac{Q}{m\pi s C_f} \tag{10.4.15}$$

unde C_f, denumit coeficient de formă este dat în tabele.

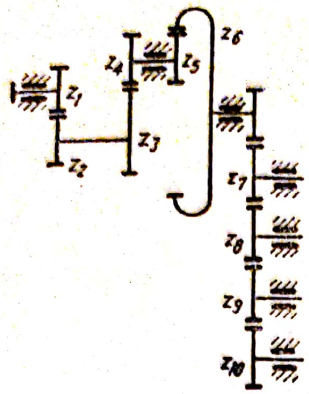


Fig. 10.4.12. Tren de angrenaje.

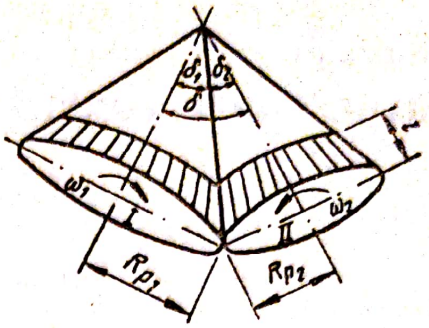


Fig. 10.4.13. Angrenaje conice.

Trenul de angrenaje este compus dintr-o serie de angrenaje legate în paralel și serie (fig. 10.4.12). Raportul de transmitere total, este egal cu produsul rapoartelor de transmitere intermediare

$$i_{1,10} = \frac{\omega_1}{\omega_{10}} = -\frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_3}{Z_2} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} \cdot \frac{Z_5}{Z_4} \cdot \frac{Z_6}{Z_5} \cdot \frac{Z_7}{Z_6} \cdot \frac{Z_8}{Z_7} \cdot \frac{Z_9}{Z_8} \cdot \frac{Z_{10}}{Z_9} \qquad (10.4.16)$$

Z_8 și Z_9 fiind roți parazite (suplimentare ; nu schimbă raportul i).

În cazul angrenajelor conice suprafețele primitive sînt conice (fig. 10.4.13). Elementele geometrice ale acestora ca pasul, modulul, etc, se referă la raza primitivă maximă a cercului obținut prin intersecția conului cu un plan perpendicular pe axa roții. Raportul de transmisie este dat de relația

$$i_{12} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} \qquad (10.4.17)$$

Angrenajele melcate (fig. 10.4.14), constituie un caz particular al angrenajelor elicoidale, unghiul de încrucișare al axelor fiind 90°. Avantajele lor constau în posibilitatea realizării unui raport mare de transmisie și o funcționare fără zgomot, dar la un randament scăzut.

Reductoarele (fig. 10.4.15) sînt mecanisme care servesc la micșorarea turațiilor și la mărirea momentului de torsiune. Reductoarele se construiesc cu o singură treaptă, dacă raportul de transmisie nu depășește opt. Peste această cifră se folosesc reductoare cu mai multe trepte.

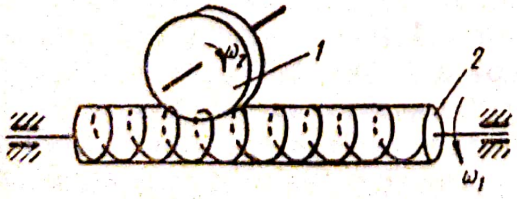


Fig. 10.4.14. Angrenaj melcat : 1 — roată melcată ; 2 — melc.

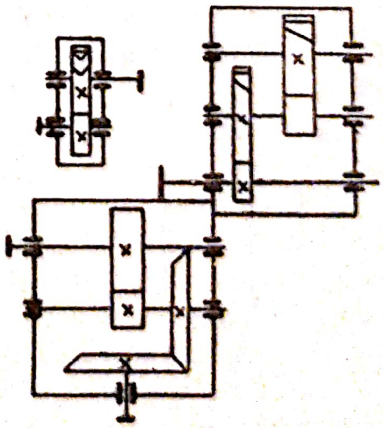


Fig. 10.4.15. Reductor

CAPITOLUL XI

MOTOARE. POMPE. COMPRESOARE

11.1. PRINCIPALELE TIPURI DE MOTOARE FOLOSITE LA MAŞINILE DE CONSTRUCŢII

11.1.1. Noţiuni introductive. Motoarele termice sînt maşini care transformă căldura în lucru mecanic. Ele se clasifică în motoare cu ardere externă (maşinile cu abur şi motoarele cu aer cald) şi motoare cu ardere internă (motoare cu explozie şi motoare Diesel). Agentul purtător, este aburul, sau aerul cald în cazul motoarelor cu ardere externă, precum şi gazele obţinute din arderea combustibilului, în cazul motoarelor cu ardere internă. Deci în cazul motoarelor termice, fluidul motor este un corp gazos, fiind necesar cunoaşterea legilor fundamentale ale gazelor pentru studiul funcţionării acestor motoare.

Prin încălzire, un gaz îşi măreşte temperatura, datorită creşterii energiei cinetice interioare a moleculelor şi totodată volumul, prin învingerea forţelor de coeziune. Prin dilatare, gazul va efectua un lucru mecanic, pentru care se cheltuieşte o parte din căldura absorbită. Deci în cazul general, căldura transmisă unui corp gazos serveşte la variaţia energiei sale interne şi la efectuarea unui lucru mecanic exterior.

Starea unui gaz este determinată de presiunea p, volumul unei cantităţi determinate v şi temperatura absolută $T = 273 + t°$ unde T este măsurat în $°K$ iar t în $°C$.

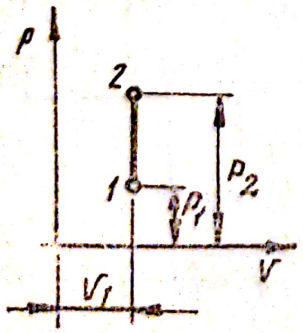


Fig. 11.1.1. Transformare izovolumetrică.

Dacă cel puţin una din aceste mărimi se schimbă se spune că gazul suferă o transformare.

În transformarea izovolumetrică (izocoră), (fig. 11.1.) transformarea se face sub volum constant. Starea iniţială a gazului din punctul 1, cu parametri p_1, v_1, T_1, suferă o transformare pînă în punctul final 2, cu parametri p_2, v_1, T_2. Lucrul mecanic efectuat de gaz în această transformare este nul, deoarece aria închisă de curbă, verticalele punctelor 1 şi 2 şi abscisa este nulă.

Transformarea izobară se caracterizează prin $p = ct.$ (fig. 11.1.2). În punctul 1 gazul se găseşte în sta-

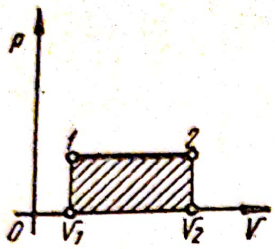


Fig. 11.1.2. Transformare izobară.

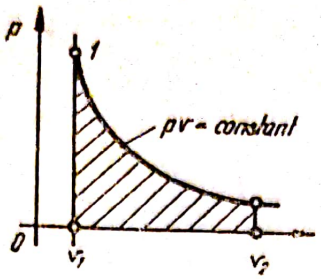


Fig. 11.1.3. Transformare izotermică.

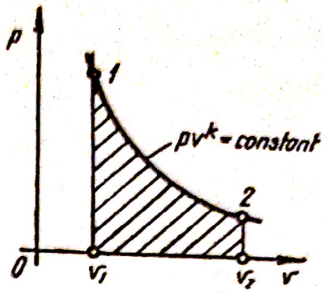


Fig. 11.1.4. Transformare adiabatică.

rea p_1, v_1, T_1, iar în punctul 2 la p_1, v_2, T_2. Lucrul mecanic efectuat de gaz prin trecerea de la starea 1 la starea 2 este

$$L = p(v_2 - v_1) \tag{11.1.1}$$

Transformarea izotermică prin $T = \text{ct}$ (fig. 11.1.3) reprezentată în diagrama pv printr-o hiperbolă echilaterală. Lucrul mecanic efectuat de gaz este reprezentat de aria v_1 1 2 v_2.

Transformarea adiabată (fig. 11.1.14) se caracterizează prin lipsa schimbului de căldură în timpul evoluției de la o stare la alta. Ecuația acestei transformări este

$$pv^k = \text{ct} \tag{11.1.2}$$

unde $K \geqslant 1$ este coeficientul adiabatei.

Transformarea politropă presupune și schimbări de căldură cu exteriorul (o imagine reală a transformării adiabate). Ecuația transformării este

$$pV^n = \text{ct} \tag{11.1.3}$$

unde n este coeficientul politropic $(1 < n < K)$.

O transformare este reversibilă (fig. 11.1.5) dacă este posibilă readucerea gazului prin comprimare de la starea 2 la starea inițială 1, comprimarea făcîndu-se după aceeași curbă, după care s-a făcut destinderea, în condiții exterioare identice. Transformarea va fi ireversibilă (figura 11.1.6) cînd ea nu poate fi realizată în sens invers. În cazul motoarelor termice nu pot avea loc transformări reversibile, deoarece mașinile lucrează în condiții reale (frecări, pierderi de căldură). În fig. 11.1.5 lucrul mecanic util este nul (lucrul dezvoltat la destindere se consumă în întregime la comprimare), pe cînd în fig. 11.1.6 întrucît lucrul mecanic de destindere 1 a 2 este mai mare ca cel de compresie 2 b 1, mașina realizează un lucru util reprezentat de zona hașurată. Dacă lucrul mecanic de compresiune este mai mare decît cel de destindere, pentru realizarea ciclului este necesar a se consuma un lucru mecanic din exterior. Dacă în timpul destinderii, gazul absoarbe o cantitate de căldură Q_1 și cedează către exterior în timpul compresiei cantitatea de căldură Q_2, randamentul termic al transformării va fi

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \tag{11.2.4}$$

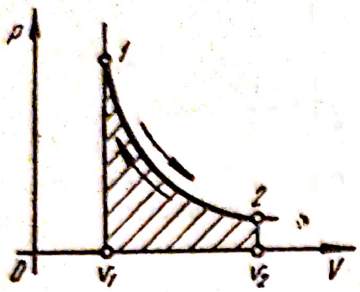


Fig. 11.1.5. Transformare reversibilă.

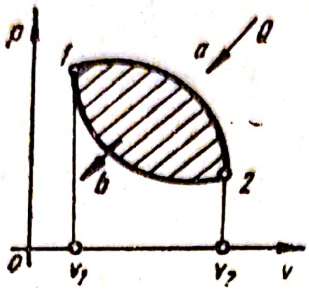


Fig. 11.1.6. Transformare ireversibilă.

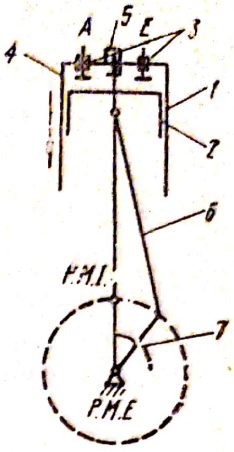


Fig. 11.1.7. Motor cu ardere internă.

Căldura care se transformă în lucrul mecanic, va fi cu atît mai mare cu cît diferenţa de temperatură dintre izvorul cald T_1'', de la care maşina absoarbe căldura şi cel rece T_2, căruia maşina îi cedează căldura, va fi mai mare.

11.1.2. **Motoare cu ardere internă.** Motoarele cu ardere internă se clasifică după principiul de funcţionare în motoare cu explozie şi motoare cu ardere lentă sau Diesel. Ambele motoare pot funcţiona în patru timpi sau în doi timpi. Un motor cu ardere internă se compune (fig. 11.1.7) dintr-un cilindru închis la un capăt şi deschis la celălalt. Prin capătul deschis pătrunde pistonul, care execută o mişcare de dute-vino în cilindrul motor. Transformarea mişcării rectilinii în mişcare de rotaţie, se realizează printr-un mecanism bielă-manivelă. Cursa pistonului este egală cu diametrul cercului descris de butonul manivelei. Poziţiile extreme ale pistonului se numesc punctul mort superior şi punctul mort inferior. În urma arderii, combustibilul nu trebuie să lase cenuşe. Aceasta ar duce la o rapidă uzură a suprafeţei interioare a cilindrului. Se folosesc drept combustibili substanţe lichide (majoritatea produşi prin rafinarea ţiţeiului) sau gaze. Datorită volatilităţii produselor lichide superioare (benzine) amestecul carburant se poate pregăti în afara cilindrului, la motoarele cu explozie. În cazul produselor mai grele (motorina) această volatilizare la temperatura mediului ambiant nu există şi din acest motiv amestecul carburant este preparat în interior, unde temperatura aerului a fost ridicată prin comprimare. Prin urmare capacitatea de evaporare a combustibilului reprezintă una din caracteristicile de bază, se exprimă prin cantitatea de combustibil ce se evaporează într-un interval de timp la o anumită temperatură. Calitatea unui combustibil se apreciază după cifra octanică (aceasta depinde de viteza de propagare a flăcării în timpul arderii), puritatea (lipsa apei), temperatura de îngheţare.

11.1.3. **Motoare cu ardere internă în patru timpi.** Motorul cu explozie în patru timpi îşi desfăşoară ciclul pe două rotaţii ale arborelui cotit (fig. 11.1.8 şi 11.1.9).

Scanned with OKEN Scanner

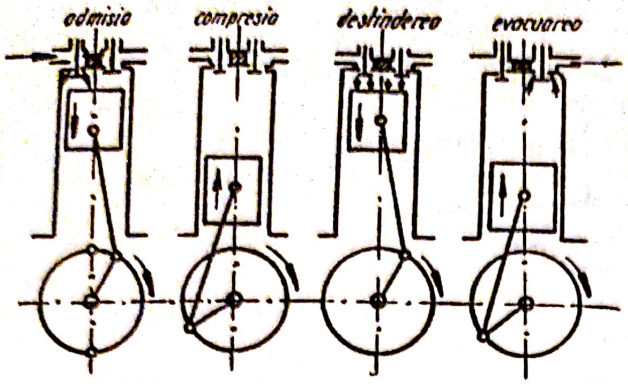


Fig. 11.1.8. Motorul cu explozie în patru timpi.

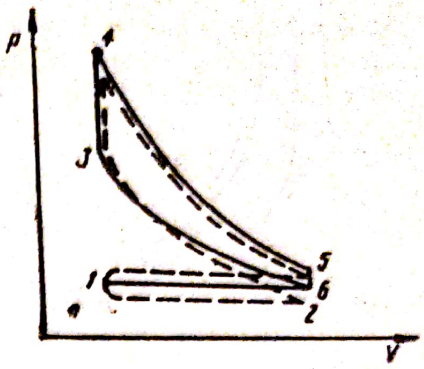


Fig. 11.1.9. Diagrama ideală a motorului în patru timpi.

Timpul 1. Admisia: aspirația amestecului de aer și vapori de benzină, dozați într-un amestec omogen. În prima cursă pistonul coboară și în timpul în care supapa de admisie se deschide, amestecul carburant pătrunde în cilindru (izobara 1—2 în fig. 11.1.9).

Timpul 2. Compresia: amestecul gazos este comprimat în cursa următoare, pistonul se ridică, ambele supape fiind închise. Comprimarea se face după adiabata 2—3.

Timpul 3. Explozia și detenta: la sfîrșitul compresiei, datorită unei scîntei electrice, amestecul se aprinde instantaneu și explodează, presiunea se mărește și ea instantaneu, urmată de o destindere a gazelor arse. Ca urmare, pistonul coboară în cilindru, supapele fiind închise. Timpul trei se realizează în două faze; arderea la volum constant 3—4; expansiunea adiabată 4—5, prin care gazele arse își micșorează presiunea și temperatura.

Timpul 4. Evacuarea: prin deschiderea supapei de evacuare, în interiorul cilindrului are loc o transformare izovolumetrică 5—6, iar prin cursa următoare a pistonului, gazele arse sînt evacuate din cilindru, ceea ce se indică în diagramă printr-o transformare izobară 6—1.

Ciclul motorului cu explozie este un ciclu cu ardere la volum constant desfășurat în patru timpi, fiecare corespunzînd unei curse a pistonului. Dintre acești patru timpi, numai unul singur (timpul 3) este timp motor.

Diagrama reală, ce se poate ridica cu ajutorul indicatorului de presiune asupra unui motor aflat în funcțiune, se numește diagrama indicată (fig. 11.1.10).

Se observă că aceasta diferă de diagrama teoretică, deosebirile fiind datorate următoarelor cauze principale:

a) Supapa de admisie se deschide înaintea sfîrșitului cursei de evacuare și presiunea în timpul aspirației este mai mică decît cea atmosferică.

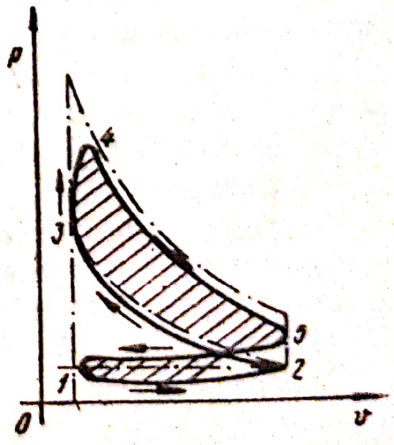


Fig. 11.1.10. Diagrama reală a motorului în patru timpi.

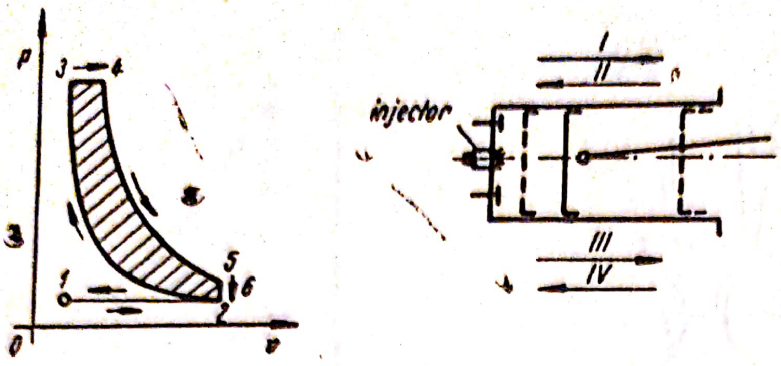


Fig. 11.1.11. Motorul Diesel în patru timpi.

b) Datorită faptului că în cilindru mai rămîn gaze arse neevacuate, iar amestecul carburant sau aerul proaspăt se încălzeşte cînd trece prin orificiile de admise, sau se freacă de pereţii încălziţi, dilatîndu-se şi deci mărindu-şi volumul, nu se poate realiza o umplere, teoretic posibilă, a cilindrului cu fluid motor. Acest fapt este exprimat printr-un coeficient de umplere $\eta_v = 0{,}75 \cdots 0{,}9$ care este cu atît mai mic cu cît turaţia este mai mare.

c) Compresia amestecului carburant sau a aerului proaspăt se realizează nu după o adiabată ci după o transformare politropă, din cauza schimbului de căldură dintre pereţii cilindrului şi gazele comprimate. În cazul motoarelor cu explozie exponentul politropic variază între $n = 1, 2 \ldots 1{,}25$.

d) Arderea carburantului la motoarele cu explozie este începută înainte de punctul mort superior, cu un avans la aprindere. Datorită arderii rapide, flacăra se extinde repede în cilindru, astfel că procesul se apropie de o izobară.

e) Destinderea gazelor arse în motoarele cu ardere internă nu este o adiabată, ci procesul de destindere se realizează după o politropă, cu exponentul politropic variabil.

f) Evacuarea gazelor arse este începută înainte ca pistonul să fi ajuns în punctul mort inferior.

11.1.3. Motorul Diesel în patru timpi desfăşoară ciclul tot de-a lungul a două rotaţii a arborelui cotit. Schema principală şi diagrama de funcţionare sînt indicate în figura 11.1.11.

Timpul 1. Admisia: pistonul coboară de la punctul mort superior către punctul mort inferior, supapa de admisie se deschide şi aerul proaspăt este admis în cilindru. În diagrama teoretică, această transformare se reprezintă prin izobara 1—2.

Timpul 2. Compresia: se realizează în cursa următoare de ridicare a pistonului, ambele supape fiind închise. În urma comprimării temperatura aerului se ridică dincolo de temperatura de autoaprindere a combustibilului. În diagramă transformarea se reprezintă prin adiabata 2—3.

Timpul 3. Injecţia: arderea şi destinderea se realizează la noua coborîre a pistonului, supapele fiind închise. Pistonul fiind la punctul mort superior, într-un timp foarte scurt combustibilul este injectat şi pulverizat foarte fin în cilindru, unde se aprinde rapid (dar nu instantaneu), datorită tempera-

Scanned with OKEN Scanner

turii ridicate a aerului comprimat. Apoi are loc arderea şi destinerea gazelor de ardere. Arderea este reglată astfel ca se înceteze odată cu închiderea injectorului, după care urmează destinderea. În diagrama teoretică, aceste transformări de stare sînt reprezentate prin izobara 3—4 şi adiabata 4—5.

Timpul 4. Evacuarea: se face prin deschiderea supapei de evacuare, presiunea din interiorul cilindrului descreşte, această transformare fiind reprezentată prin curba 5—6. În curba de ridicare a pistonului supapa de evacuare fiind deschisă, gazele arse sînt evacuate din cilindru (izobara 6—1).

Dintre aceşti patru timpi numai unul singur (timpul 3) este activ. Spre deosebire de motorul cu explozie, unde arderea este aproape instantanee, la motorul Diesel arderea durează mai mult timp, dar în această perioadă presiunea în cilindru se menţine aproximativ constantă. Din acest motiv ciclul Diesel este denumit şi ciclul de ardere la presiune constantă.

Diagrama reală a motorului Diesel se indică în figura 11.1.12. Factorii care determină diferenţe între diagrama teoretică şi cea reală sînt aceeaşi cu cei amintiţi la motorul cu explozie.

11.1.4 **Motoare cu ardere internă în doi timpi.** Motoarele în doi timpi îşi desfăşoară ciclul într-o singură rotaţie a arborelui cotit. În figura 11.1.13, s-a reprezentat diagrama reală a unui motor Diesel în doi timpi. În cazul acestor motoare, admisia şi evacuarea se petrec aproape simultan către sfîrşitul timpului motor, cînd au loc atît măturarea gazelor arse, cît şi umplerea cu aer a cilindrului. Caracteristica acestor motoare constă în lipsa supapelor şi existenţa unor orificii (fante) pe cămaşa cilindrului, care se deschid sau sînt închise de piston în timpul mişcării sale. Prin anumite fante se realizează integrarea aerului proaspăt şi în cilindru, iar prin altele evacuarea gazelor arse.

În figură, destinderea gazelor arse se realizează după o transformare adiabată 1—2, în acest timp pistonul coboară şi efectuează cca 6/7 din curba sa. În acel moment pistonul deschide orificiile de evacuare şi stabileşte legătura cu atmosfera (curba 2—3 din diagramă). Puţin înaintea punctului mort sînt deschise şi orificiile pentru admisia aerului proaspăt, comprimat, în prealabil, la o presiune de 1,1 ... 1,3 ata. Acesta năvăleşte în cilindru făcînd măturarea gazelor arse ce au mai rămas şi umplerea cilindrului cu

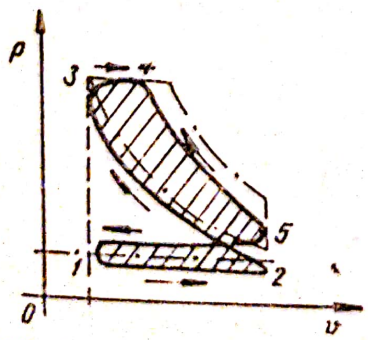
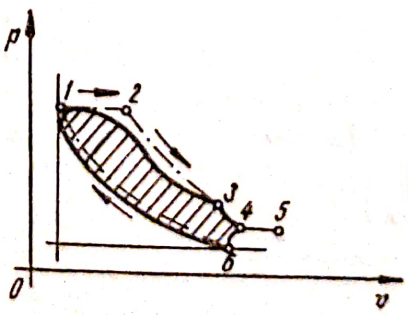


Fig. 11.1.12. Diagrama reală a motorului Diesel în patru timpi.



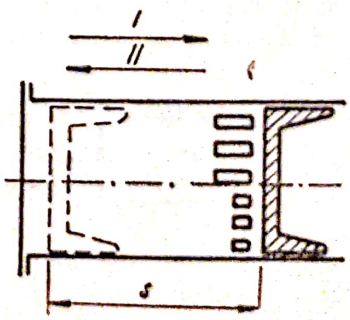


Fig. 11.1.13. Diagrama reală a unui motor Diesel în doi timpi.

aer proaspăt (admisia), reprezentată prin curba 3—4. În cursa de înapoiere a pistonului, aerul proaspăt continuă să intre în cilindru, pînă ce pistonul acoperă mai întîi orificiile de admisie (curba 4—5) și apoi a evacuarea gazelor arse, prin acoperirea orificiilor de evacuare (curba 5—6). Aerul rămas în cilindru este comprimat după o lege adiabatică (curba 6—7). În urma injectării combustibilului în aerul încălzit se produce autoaprinderea și arderea (curba 7—1).

Funcționarea motorului cu explozie în doi timpi, este asemănătoare cu cea descrisă pentru motoarele Diesel în doi timpi, cu diferența corespunzătoare în ceea ce privește carburația, care se realizează în exteriorul cilindrului, iar aprinderea amestecului carburant realizîndu-se cu o scînteie dată de bujie la momentul cerut.

Motoarele în doi timpi, prezintă un grad de uniformitate a cuplului motor mai mare decît motorul în patru timpi, deoarece în același timp dezvoltă un număr dublu de cicluri. Pentru aceiași capacitate cilindrică, la aceiași turație și pentru o viteză și o presiune medie efectiv dată, motorul în doi timpi dezvoltă o putere de cca. 1,75 ori mai mare decît motorul în patru timpi.

Dezavantajele motoarelor în doi timpi constau în randamentul volumic scăzut și în consecință și randamentul motorului scăzut, și totodată încărcarea termică a chiulasei, a cilindrului și a pistonului mai mare, din cauza numărului dublu de aprinderi în unitate de timp.

11.1.5. **Dispozitive anexe ale motoarelor cu ardere internă.** Alimentarea motoarelor cu ardere internă, se realizează prin intermediul unei pompe. În circuitul de alimentare al motoarelor cu explozie (fig. 11.1.14) se găsește un rezervor de combustibil din care, printr-un filtru, benzina este pompată spre carburator, care are rolul de a realiza amestecul, într-un raport bine determinat, a aerului cu vaporii de benzină, amestec care, apoi, este aspirat în cilindrul motor. În cazul motoarelor Diesel, din rezervorul de combustibil, printr-un filtru, motorina ajunge la pompa de injecție, care, la momentul cerut, o pulverizează în interiorul cilindrului motor, la o presiune relativ ridicată (200—300 at).

Pentru asigurarea bunei funcționări a motorului, diferitele organe care vin în contact, trebuie unse. Se utilizează ungerea forțată, conform schemei din fig. 11.1.15. Uleiul de ungere, aflat în carterul motorului este aspirat

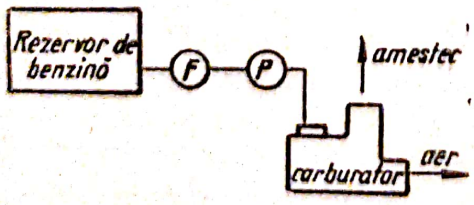


Fig. 11.1.14. Alimentarea motoarelor cu ardere internă.

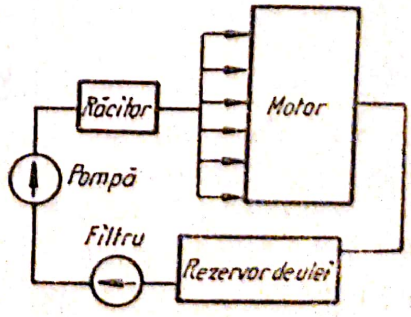


Fig. 11.1.15. Ungerea motoarelor cu ardere internă.

Scanned with OKEN Scanner

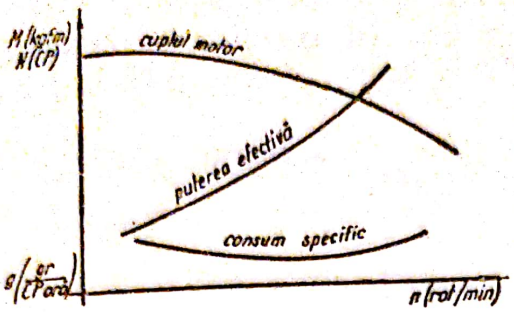


Fig. 11.1.16. Caracteristicile unui motor Diesel în patru timpi.

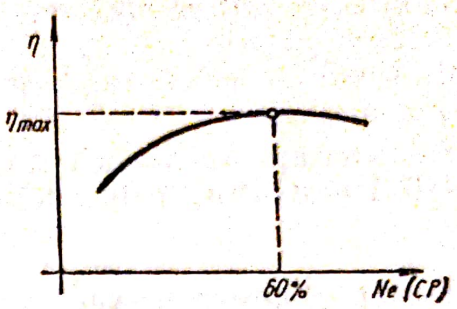


Fig. 11.1.17. Caracteristica randamentului în funcţie de sarcină.

printr-un filtru, de către o pompă şi refulat spre locurile ce trebuie unse. Uleiul încălzit ce iese din locurile de ungere, trece printr-un răcitor şi revine în carter. În timpul funcţionării, o mare cantitate de căldură este cedată apei de răcire, rolul său fiind de a impiedica încălzirea prea puternică a cilindrilor şi a chiulasei motorului. Apa de răcire se poate mişca într-un circuit deschis sau închis. În cazul circuitului închis, apa este pompată cu ajutorul unei pompe spre cămaşa cilindrilor şi a chiulasei unde în urma schimbului de căldură se încălzeşte, ca apoi să cedeze căldura absorbită în urma trecerii sale printr-un radiator. În cazul circuitului deschis, apa trece prin locurile ce trebuie răcite şi apoi este condusă la canal.

Volantul are rolul de a asigura un mers cît mai liniştit al maşinii.

Arborele cu came, avînd un număr de came egal cu al supapelor, serveşte la comanda supapelor de admisie şi refulare. Este un mecanism component al motoarelor cu explozie în patru timpi, avînd o turaţie de două ori mai mică decît turaţia arborelui cotit.

Motoarele cu ardere internă, sînt utilizate pentru antrenarea directă a echipamentelor de lucru şi ca motoare primare pentru antrenarea compresoarelor, pompelor şi a generatoarelor.

Curbele caracteristice ale motoarelor, indică puterea şi cuplul corespunzător în funcţie de turaţie. Curbele permit a se trage concluzii referitoare la domeniul de turaţii util. În figura 11.1.16, sînt reprezentate aceste curbe pentru un motor Diesel în patru timpi. În figura 11.1.17, se reprezintă curba randamentului în funcţie de sarcină. Se observă că acesta este maxim la circa 60% din sarcina nominală.

Puterea motorului depinde de valoarea lucrului mecanic produs în fiecare ciclu şi de numărul ciclurilor în unitate de timp. Pentru un motor în patru timpi, puterea indicată se calculează cu relaţia

$$N_i = \frac{D^2}{4} \cdot p_i \frac{n_c \cdot S}{60} \cdot \frac{1}{75} i \qquad (11.1.5)$$

unde: D este alezajul cilindrului în cm; p_i presiunea indicată în Kgf/cm², dedusă din diagrama indicată; n_c numărul de cicluri pe minut; S cursa pistonului în m; i numărul de cilindri.

Motoarele cu ardere internă prezintă o serie de avantaje dintre care se amintesc: gabarit mic, posibilitatea punerii imediat în funcţionare, greutate specifică mică, randament relativ mare, număr mic de persoane necesar deservirii.

Ca dezavantaje se menţionează: durata de serviciu relativ scăzută, combustibil costisitor, construcţie complicată.

11.2. POMPE ŞI COMPRESOARE

11.2.1. Pompe hidraulice. Pompele hidraulice sînt maşini care transformă energia mecanică a unui motor primar în energie atît potenţială, cît şi cinetică.

După felul lichidului pompat, pompele pot fi pentru apă, noroi, lichide vîscoase, etc.

După modul în care lichidul (fluidul) este antrenat de piesa activă a pompei se pot distinge pompe volumetrice (pompele cu piston, pompele cu angrenaje, pompele cu aripioare basculante sau culisante) şi pompele rotative cu palete (centrifuge şi axiale). În primul caz energia cîştigată de fluid este în majoritate de formă potenţială, în timp ce în al doilea este sub formă cinetică.

a) Pompele cu piston. Folosirea acestor pompe destinate transportului lichidelor în cantităţi nu prea mari, la presiuni medii sau mari, este recomandată, în special, în cazurile cînd este necesară menţinerea constantă a debitului pentru o variaţie bruscă a presiunii. Pompa (fig. 11.2.1) se compune din cilindrul 1, în care se deplasează pistonul 2, conducta de aspiraţie 9 şi cea de refulare 10, supapele 13 şi 14. În vederea dublării debitului se va utiliza o pompă la care pistonul lucrează activ cu ambele suprafeţe.

Pentru n rotaţii pe minut ale arborelui motor, care acţionează sistemul bielă-manivelă, viteza medie v_m a pistonului va fi dată de relaţia:

$$v_m = \frac{2Ln}{60} \qquad (11.2.1)$$

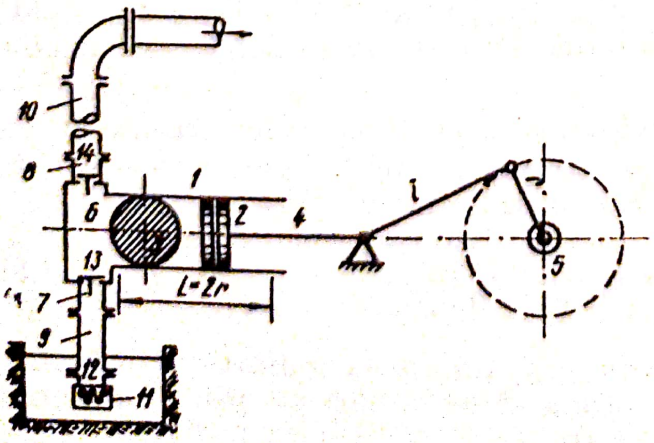


Fig. 11.2.1. Schema constructivă a pompei cu piston:
1 – cilindrul pompei; *2* – piston; *3* – secţiunea pistonului; *4* – sistemul bielă – manivelă; *5* – axul motor; *6* – corpul pompei; *7* – conductă de intrare în pompă; *8* – conductă de ieşire din pompă; *9* – conductă de aspiraţie; *10* – conductă de refulare; *11* – sorb; *12* – conductă de legătură; *13*, *14* – supape.

în care L este lungimea cursei pistonului, exprimată în metri; debitul teoretic al pompei va fi

$$Q_t = \frac{1}{2} v_m \cdot S \qquad [m^3/s] \qquad (11.2.2)$$

unde S este secţiunea activă a pistonului, în m^2;

Înălţimea de refulare a apei va fi:

$$H = Z + \frac{p_{man} + p_{vac}}{\gamma} + \frac{v_r^2 + v_a^2}{2g} \qquad [m \cdot col \cdot H_2O] \qquad (11.2.3)$$

în care: z este înălţimea la care se află manometrul faţă de punctul său de legătură cu conducta de refulare; p_{man} — presiunea indicată de manometru; p_{vac} — presiunea vacuum metrului $= p_0 - p_a$; p_0 — presiunea atmosferică; p_a — presiunea absolută a ştuţului de aspiraţie; γ — greutatea specifică a lichidului absorbit (a apei); v_r — viteza lichidului la refulare; v_a — viteza lichidului la admisie; g — acceleraţia gravitaţională.

Practic, se observă că debitul real Q al pompei, est mai mic decît debitul Q_t calculat cu relaţia de mai sus. Se defineşte randamentul pompei prin relaţia

$$\eta = \frac{Q}{Q_t} \qquad (11.2.4)$$

diferenţa dintre cele două debite datorîndu-se pierderilor în supape, pistonului (neetanşeitatea garniturilor, scurgerilor de lichid în afara pompei). Ca urmare, randamentele pompelor cu piston, vor avea valorile:

- pompe mici cu $Q = 1 - 30$ m³/h — $\eta = 0{,}85 - 0{,}9$
- pompe medii cu $Q = 30 - 300$ m³/h — $\eta = 0{,}9 - 0{,}95$
- pompe mari cu $Q > 300$ m³/h — $\eta = 0{,}95 - 0{,}99$

La pompele uzate, randamentul poate atinge valori $\eta = 0{,}4 - 0{,}5$;

b) pompele cu angrenaje (fig. 11.2.2), sînt de o construcţie foarte simplă şi sigure în exploatare. Presiunea este mai mică decît 30 ata, debitul este sub 0,01 m³, iar puterile de antrenare sînt relativ mici.

Notînd cu ΔF volumul golului între doi dinţi consecutivi şi peretele carcasei, cu U numărul golurilor active, cu n turaţia în (rot/min) a celor doi arbori şi cu η_v randamentul volumetric (de obicei $\eta_v = 0{,}85$), debitul pompei cu roţi dinţate va fi dat de relaţia:

$$Q = 2 \cdot U \cdot \Delta U \cdot \frac{n}{60} \cdot \eta_v \qquad [m^3] \qquad (11.2.5)$$

Pierderile de debit se datoresc tocmai interstiţiilor dintre carcasă şi vîrfurile dinţilor, precum şi umplerii incomplete, în cazul turaţiilor mari, a volumelor ΔV.

c) pompa cu palete alunecătoare (fig. 11.2.3) se compune dintr-un stator şi un rotor montate excentric, astfel încît între ele există un punct de tan-

Scanned with OKEN Scanner

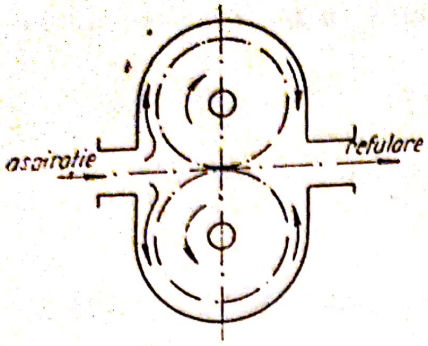


Fig. 11.2.2. Pompa cu roţi dinţate.

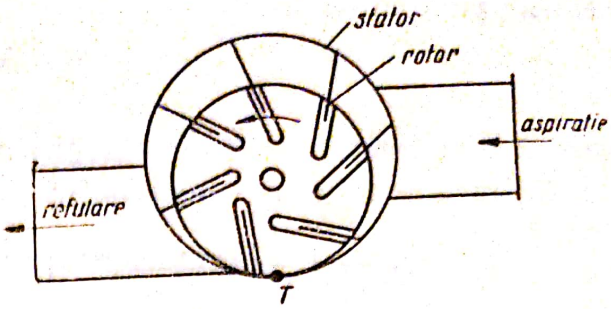


Fig. 11.2.3. Pompa cu palete alunecătoare.

genţă T. În rotor există o serie de canale, care, prin rotire, în momentul cînd trec prin dreptul orificiului de aspiraţie se umple cu lichid, pe care apoi îl transmit conductei de refulare. Avantajul acestui tip de pompe constă în lipsa supapelor, a sistemului bielă manivelă şi asigurarea unui debit continuu.

d) pompele centrifugale servesc la mărirea energiei cinetice a unui fluid. Ele se pot executa cu un singur rotor (fig.11.2.4) sau cu mai multe rotoare aceasta în funcţie de necesităţile de debit (rotoare în paralel) sau înălţimi de refulare (mai multe rotoare în serie, pentru $H \geqslant 30$ m).

Conform notaţiilor din fig. 11.2.5, se poate scrie valoarea înălţimii manometrice de la gura de refulare:

$$H_{man} = \frac{G \cdot \gamma}{1000} \tag{11.2.6}$$

în care H este înălţimea de pompare [m],
Puterea utilă necesară va fi:

$$N_u = \gamma \cdot \frac{QH}{75} \cdot 0{,}736 \qquad [\text{kW}] \tag{11.2.7}$$

unde Q este debitul pompei în m³/s, dat în tabele pentru diferitele tipuri de pompe.

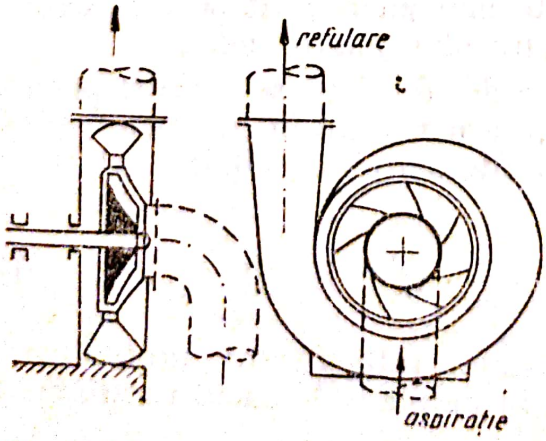


Fig. 11.2.4. Schema principală a pompelor centrifugale.

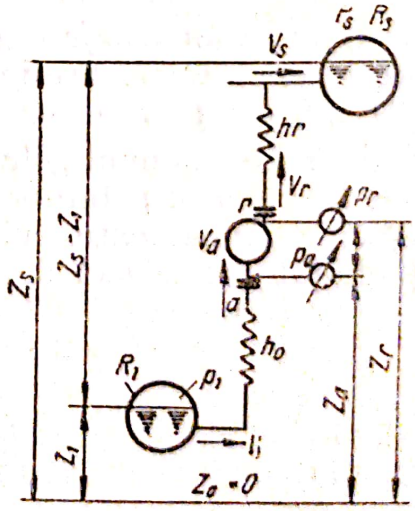


Fig. 11.2.5. Schema pentru calculul caracteristicilor unei pompe centrifugale.

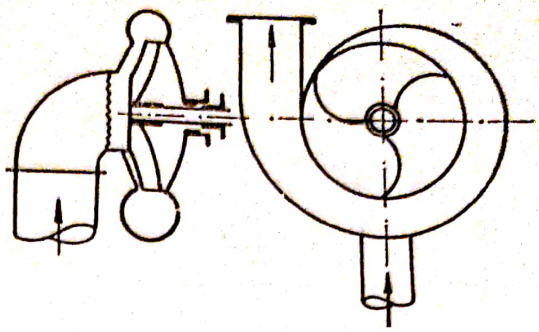


Fig. 11.2.6. Schema pompei de noroi.

În diagrame se indică dependența dintre înălțimea de refulare H, puterea N, randamentul global η al pompei și debitul acesteia, la o turație $N =$ $=$ constant.

Reglarea debitului se realizează prin obturarea vanei; prin montarea în conducta de refulare, a unei vane suplimentare mobile, care creează o rezistență suplimentară variabilă în calea fluidului ce trece prin pompă; variația turației prin intercalarea în circuitul de antrenare, între motor și axul pompei, a unui variator de turație în trepte sau continuu.

Din punct de vedere economic și al siguranței în funcționare, a doua metodă este cea care dă rezultate superioare, în special la pompele care pompează lichide prin conducte de lungimi mari.

Pompele centrifugale de noroi, în principiu, nu se deosebesc de pompele centrifugale de apă, impunîndu-se doar condiții speciale privind robustețea pieselor componente, evitîndu-se totodată orice părți proeminente în interiorul corpului pompei, care ar putea forma puncte de aglomerare. În figura 11.2.6 este prezentată schema constructivă de principiu a unei asemenea pompe.

e) pompele axiale servesc la pomparea lichidului, în cazul debitelor mari și presiunilor reduse. În acest caz, mișcarea lichidului are o direcție axială față de arborele motor, ceea ce determină inexistența forțelor centrifugale, intervenind în schimb problema anulării tendințelor de deplasare axială.

Turația rotorului se va calcula cu relația:

$$n = \frac{\left[\frac{p_a - p_e}{\gamma} - \Sigma h_{pa} - h_{a\,max}\right]^{3/4}}{(10\,k)^{3/4} \cdot \frac{\sqrt{Q}}{c}} \qquad (11.2.8)$$

în care: c este coeficient $= 800 - 900$; $k =$ coeficient $= 1{,}2 - 1{,}4$; $h_{max} =$ $=$ înălțimea de aspirație maximă admisibilă; $p_a =$ presiunea atmosferică; $p_e =$ presiunea de evaporare a lichidului pompat; $Q =$ debitul pompei $=$ $= \frac{\pi D^2}{4} c_z$; $D =$ diametrul statorului; $C_z = (0{,}06 - 0{,}08)^3 \cdot \sqrt{n^2 Q'}$; $Q' =$ $= (1{,}03 - 1{,}1)\,Q$ este debitul rotorului.

Scanned with OKEN Scanner

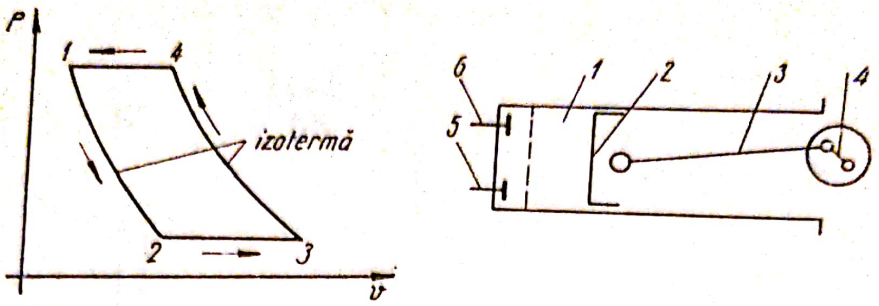


Fig. 11.2.7. Schema de principiu a compresorului cu o treaptă şi diagrama de funcţionare:
1 — corpul compresorului; *2* — piston; *3, 4* — sistemul bielă-manivelă; *5, 6* — supape.

Forma paletelor este aerodinamică, determinată de cele mai multe ori experimental, avînd grosimea maximă lîngă butuc:

$$S_{max} = (0{,}012 \div 0{,}015)\ D\sqrt{H} \qquad (11.2.9)$$

în care: D este diametrul rotorului; H este înălţimea de refulare.

Numărul de palete este de 3 pînă la 6.

11.2.2. **Compresoare de aer.** Compresorul este o maşină care transformă energia mecanică în energie pneumatică a aerului comprimat. În funcţie de valoarea presiunii finale a aerului comprimat, compresoarele pot fi de joasă presiune (pînă la 50 ata), de medie presiune (pînă la 4000 ata) şi de înaltă presiune (peste această valoare). Conform construcţiei şi totodată destinaţiei lor, compresoarele pot fi cu unul sau mai multe etaje.

a) Compresoarele cu un singur etaj (fig. 11.2.7). Cilindrul 2 se deplasează în camera, 1, fiind acţionat de sistemul bielă-manivelă 3,4 cuplat la un motor electric sau cu ardere internă. Supapele 5 şi 6 asigură aspirarea aerului în cilindru şi refularea lui, după comprimare. Tot în figura 11.2.7 este prezentată şi diagrama de funcţionare a instalaţiei.

În cursa pistonului de la punctul mort interior spre cel exterior, se realizează destinderea aerului rămas în spaţiul mort pe porţiunea 1—2, după o izotermă; pistonul continuîndu-şi cursa spre dreaptă, realizează aspiraţia aerului după ce supapa de aspiraţie se deschide automat, fenomen ce se traduce în diagramă prin izobara 2—3. După ce pistonul îşi schimbă sensul de deplasare, comprimă aerul, ambele supape fiind închise (izoterma 3—4). Aerul comprimat este eliminat prin deschiderea supapei de refulare 6 (izobara 4—5), după care ciclul repetă. Dezavantajul compresorului cu o singură treptă constă în imposibilitatea realizării unei presiuni mai mari decît 6 ata datorită tensiunilor ce apar în pereţii cilindrului şi a diferenţelor mari de temperatură.

b) Compresoare cu mai multe etaje. În acest caz, compresia aerului se realizează după o politropă. În primul cilindru (fig. 11.2.8) aerul este comprimat

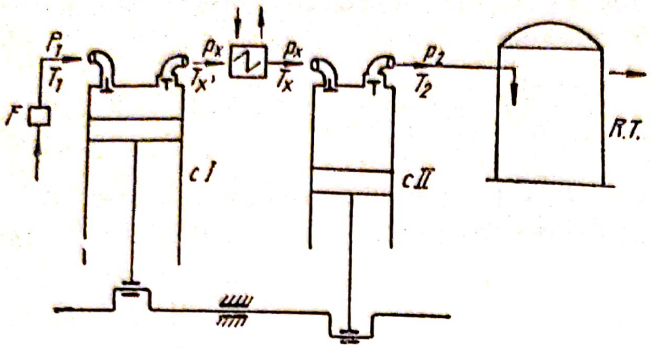


Fig. 11.2.8. Compresorul în două trepte.

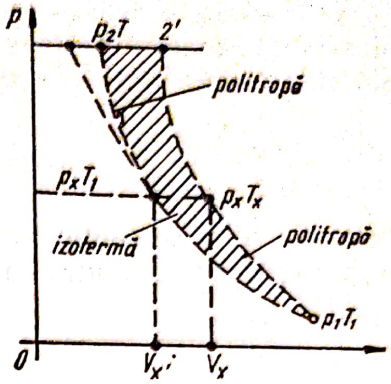


Fig. 11.2.9. Diagrama de funcționare a compresorului cu piston în două trepte.

de la presiunea inițială p_1 (fig. 11.2.9) la o presiune intermediară p_x, apoi aerul este răcit într-un rezervor intermediar pînă la temperatura inițială, după care este din nou comprimat în cilindrul al doilea, pînă la presiunea p_2 finală.

Compresoarele de debit mare, fabricate în țară de către U.C. M. Reșița sînt de construcție verticală, cu două etaje de comprimare. Partea fixă a compresorului 2V30/7, este formată din carterul inferior, carterul superior, cilindru și chiulase. Echipajul mobil este format din piston, arbore, cotit și bielă. Supapele sînt de tipul cu inele, executate din tablă.

Instalația de ungere este sub presiune, fiind prevăzută cu o pompă cu roți dințate și cu o pompă cu pistonașe, antrenate tot de către arborele cotit al compresorului. Acționarea instalației este realizată prin cuplare directă cu motoare electrice sincrone.

Compresoarele de debit mic, construite de uzinele „Timpuri Noi" sînt utilizate pentru alimentarea cu aer comprimat a unor instalații de dimensiuni reduse. Compresorul E211—3509—200 este folosit, de exemplu, la alimentarea instalației de aer comprimat a autocamioanelor. Părțile componente, similare tipului de compresor 2V30/7, sînt reduse și modificate corespunzător scopului urmărit.

c) Reglarea debitului și presiunii aerului. Una din metodele cele mai des utilizate în acest scop, este metoda prin deschiderea supapei de aspirație. Avantajul metodei constă în faptul că nu se încarcă compresorul în mod inutil. Ca dezavantaj se poate menționa necesitatea deschiderii în același timp a tuturor supapelor de aspirație ale etajelor compresorului, pentru a nu rămîne în funcțiune unul dintre aceste etaje.

O altă metodă, care constă în reglarea continuă a debitului, se realizează prin variația continuă a turației motorului de antrenare, sau prin deschiderea parțială a supapei de aspirație. Această metodă este legată de inconvenientul unei construcții complicate a dispozitivelor de reglare, apărînd posibilitatea dereglării sau defectării acestora.

d) Puterea şi debitul compresoarelor. În cazul cînd instalaţia de comprimare deserveşte mai multe maşini pneumatice, în mod simultan, debitul necesar Q de aer comprimat, se determină cu relaţia:

$$Q = K_p \cdot K_s \cdot \sum_{i=1}^{n} q_i \quad [\text{m}^3/\text{min}] \qquad (11.2.10)$$

în care: K_p este coeficient de pierderi în reţea; K_s = coeficient de simultaneitate; q_i = consumul maşinii racordate instalaţiei de comprimare (tabela 11.2.1).

Tabela 11.2.1.

Consumul de aer comprimat a maşinilor racordate la reţeaua de aer comprimat

Unealta de lucru	Consumul în m³/min
1. Ciocane de nituit	0,55 ... 1,1
2. Perforatoare pneumatice	1,4 ...2,5
3. Ciocane pneumatice de bătut piloţi	1,2
4. Injectoare pentru lapte de ciment	5
5. Aparate de tencuit	2 ...2,5

Puterea necesară de acţionare, este dată de relaţia:

$$P = 0{,}736 = \frac{L_{is} \cdot Q}{60 \cdot 75} \frac{1}{\eta} \quad [\text{kW}] \qquad (11.2.11)$$

în care: L_{is} este lucrul mecanic teoretic al compresorului la compresiune izotermică, raportat la 1 m³ de aer comprimat; η este randamentul compresorului ţinînd cont de pierderile de la comprimarea izotermică (frecări pe conducte, scăpări, frecări între organele în mişcare ale mecanismului de antrenare).

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL XII*

MAȘINI DE CONSTRUCȚII

12.1. MAȘINI ȘI INSTALAȚII DE TRANSPORTAT

Caracteristica principală a utilajelor de construcții este productivitatea muncii, care exprimă producția mașinii (m, t, etc.) realizată în unitatea de timp (v. cap. 9).

Calculul productivității tehnice se face astfel :

— La mașini cu acțiune ciclică

$$P_{rt} = \frac{3600}{t} \cdot Q \qquad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{oră}}\right] \tag{12.1.1}$$

unde Q este producția pe ciclu în m³, t fiind durata ciclului ;

— La mașini cu acțiune continuă

$$P_{rt} = 3600 \cdot F \cdot v \qquad \left[\frac{\text{m}^2}{\text{oră}}\right] \tag{12.1.2}$$

unde F este secțiunea materialului transportat, în m² iar v, viteza de deplasare a materialului, în m/s.

— La mașini cu acțiune continuă, transportînd material format din bucăți separate avînd fiecare volumul q [m³] la distanța a [m]

$$P_{rt} = 3600 \cdot \frac{q}{a} \cdot v \qquad \left[\frac{\text{m}^2}{\text{oră}}\right] \tag{12.1.3}$$

12.1.1. **Mașini pentru transportul rutier și feroviar.** Transportul pe orizontală fără cale de rulare se realizează cu autocamioane, tractoare, treilere, autocamioane cu destinație specială (v. paragr. 12.4.1) etc.

Autocamioanele (fig. 12.1.1 și tab. 12.1.1) au trei subansamble principale : șasiul compus dintr-un cadru metalic montat printr-o suspensie elastică pe două sau trei osii susținute, la rîndul lor, de roți cu pneuri. De obicei roțile din față sînt directoare iar cele din spate motoare dar există tipuri la care

* Se includ în acest capitol și mașinile de încărcat și descărcat, precum și mașinile și aparatele de ridicat.

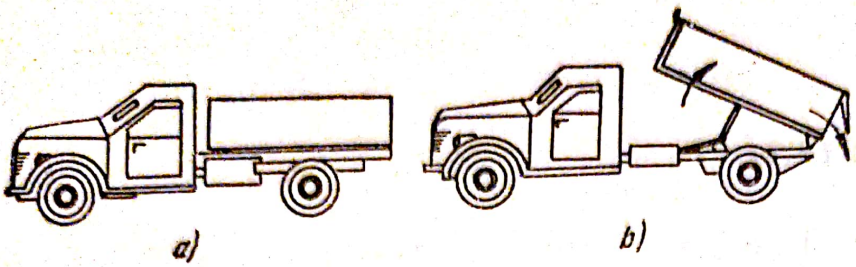


Fig. 12.1.1. Autocamioane: *a* — cu benă fixă; *b* — cu benă basculantă.

Tabela 12.1.1.

Domeniile de utilizare ale autocamioanelor uzuale de pe șantierele țării noastre

Nr. crt.	Criteriul de clasificare	Denumirea tipului de autocamion	Domenii de utilizare
1	După construcția benei de transport	Cu benă fixă	Transportul materialelor curente de construcții; granulare, în bucăți, piese și a celor alungite (dacă nu au o lungime prea mare) pe distanțe mari
		Cu benă basculantă (autocamion basculant)	Transportul și descărcarea rapidă a materialelor granulare și în bucăți, pe distanțe mari (capacitatea de încărcare 0,5 ... 40 tf)
		Autocisterne speciale.	Transportul cimentului. Transportul fluidelor.
2	După natura instalației de forță.	Cu motor Diesel, (m.a.c. — motor cu aprindere prin comprimare	Transportul materialelor de construcții. Alimentare cu motorină, puteri în general peste 100 CP
		Cu motor cu explozie (m.a.s — motor cu aprindere prin scînteie)	Transportul materialelor de construcții. Alimentare cu benzină, puteri în general sub 100 CP
3	După capacitatea de încărcare	Autocamioane mici	Executarea transporturilor pînă la 3 t capacitate de încărcare
		Autocamioane mijlocii	Executarea transporturilor de la 4 la 7 t capacitate de încărcare
		Autocamioane grele	Executarea transporturilor grele cuprinse între 8 și 30 t sau chiar mai mult

Scanned with OKEN Scanner

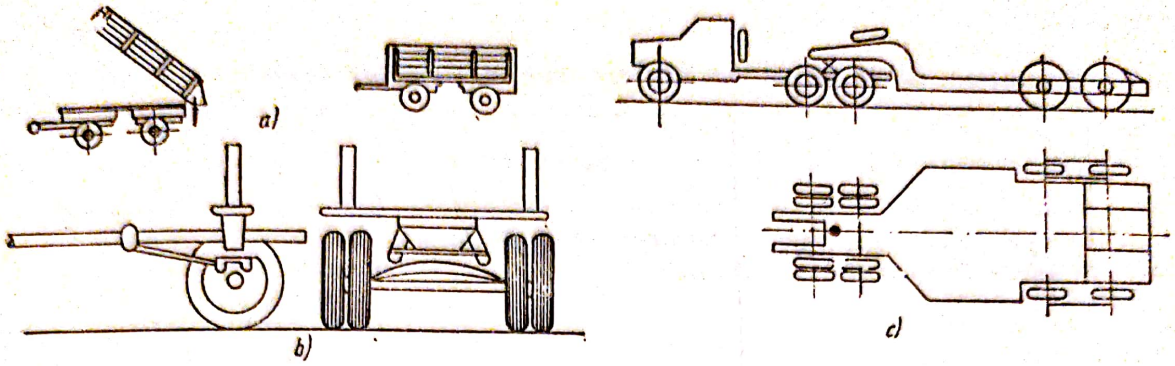


Fig. 12.1.2. Remorci:
a — cu platformă fixă și basculantă; *b* — extensibilă cu osie; *c* — treieler văzut lateral și de sus.

atît roțile din față cît și cele din spate sînt motoare, utilizîndu-se pentru condiții rutiere grele (SR 131).

Pe șasiu se montează motorul, ambreiajul, cutia de viteze, sistemele de frînare, de direcție și de transmisie.

Pentru obținerea cuplului motor se folosesc motoare cu ardere internă (v. paragr. 11.1).

Caroseria este formată din cabina șoferului și bena de transport. Bena este de lemn sau metalică, cu obloane laterale fixe sau rabatabile. Ea poate fi fixă sau basculantă (v. fig. 12.1.1).

Domeniile de utilizare și caracteristicile autocamioanelor uzuale de pe șantierele țării noastre sînt date în tabele.

Avantajele autocamioanelor sînt: viteza mare de deplasare, manevrare ușoară, posibilitatea circulației pe drumuri cu denivelări pînă la 10%, etc. Necesită însă întreținerea permanentă a drumurilor. Pentru extinderea posibilităților de utilizare, cînd drumurile sînt bune, se atașează remorci (v. tab. 12.1.2 și fig. 12.1.2).

Pentru transportul utilajelor grele, pînă la 45 t, se utilizează treilerele (fig. 12.1.2), avînd astfel posibilitatea transportării utilajelor nedemontate, care se pot urca pe treiler cu mijloace proprii sau cu troliile prevăzute pe treiler, prin oblonul rabatabil. Platforma se sprijină pe crapodina autocamionului, acesta primind astfel numele de autocamion (remorcher) cu șea:

Tractoarele (figura 12.1.3 și tabela 12.1.3) se utilizează pentru transportul materialelor în remorcă sau semiremorcă. Au viteză mai mică decît a autocamioanelor, dar se pot utiliza pe orice fel de drumuri. Forța de tracțiune, la putere egală, este mai mare decît a autocamioanelor.

Principial, tractoarele se compun din aceleași elemente ca și autocamioanele, neavînd însă benă de transport. Se construesc pe roți cu pneuri, cu motoare pînă la 50—60 CP, sau pe șenile cu motoare de 120 CP sau mai mari. Avantajele tractorului pe șenile sînt: presiunea pe sol scăzută; aderență bună la teren; capacitate de deplasare pe teren accidentat.

Pentru transporturi în debleuri sau în spații înguste, se folosesc tractoare speciale cu cutii basculante.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.2

Clasificarea și domeniile de utilizare ale principalelor tipuri de remorci

Nr. crt.	Criteriul de clasificare	Tipul remorcii	Domenii de utilizare
1	După construcția platformei de încărcare	Remorci cu platformă fixă	Transportul materialelor de construcții (granulare în bucăți, piese etc.) remorcate de autocamioane sau tractoare
		Remorci basculante	Transportul și descărcarea rapidă a materialelor de construcții de formă granulară sau în bucăți, tractate de auto-camioane sau tractoare
		Remorci-cisternă speciale	Transportul cimentului, fluidelor etc., tractate de autocamioane sau tractoare
		Remorci joase (treilere)	Transporturi grele (12 ... ... 45 t). Transportul mașinilor și pieselor grele, transportul excavatoarelor, prefabricatelor etc.
		Remorci pentru materiale lungi	Transportul materialelor lungi (grinzi, stîlpi, laminate etc.)
		Semiremorci	Transporturi grele; lucrări de terasamente. Măresc greutatea aderentă și forța de tracțiune a tractorului

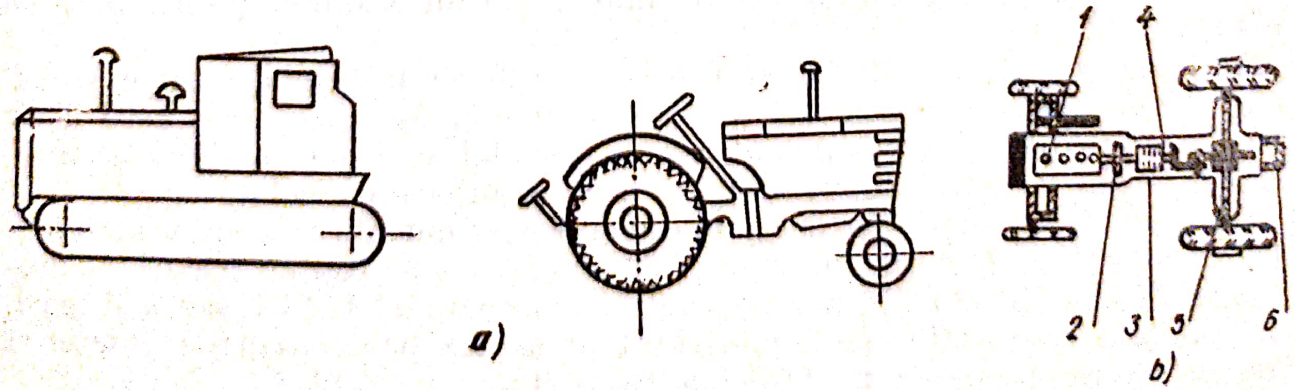


Fig. 12.1.3. Tractoare:
a — cu șenile; *b* — cu pneuri; *1* — motor; *2* — ambreiaj; *3* — cutie de viteze; *4* — grup conic; *5* — diferențial; *6* — bara de tracțiune.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.3

Clasificarea și domeniile de utilizare a tractoarelor

Nr. crt.	Criteriul de clasificare	Denumirea tipului de tractor	Domeniul de utilizare
1	După particularitățile mecanismului de deplasare	Tractoare pe șenile	Executarea transporturilor grele pe distanțe scurte (în remorci), tractarea mașinilor de săpat și transportat în timpul lucrului, transportul utilajelor mari etc. pe terenuri accidentate și cu pante mari
		Tractoare pe pneuri (cu una sau două osii)	Executarea transporturilor rapide (15 ... 30 km/oră) pe șantiere, șosele, remorcarea utilajelor mici etc. (se utilizează în terenuri ușoare)
2	După natura instalației de forță	Tractoare cu motoare Diesel (m.a.c.)	Transporturile cele mai răspîndite și pentru cele mai variate puteri. Alimentare cu motorină.
		Tractoare cu motoare cu aprindere prin scînteie (m.a.s)	Transportul materialelor. Sînt mai puțin răspîndite datorită randamentului mai mic al motoarelor și consumului mai mare de combustibil

Mijlocul de transport odată ales, este necesară determinarea greutății G (camion + încărcătură) ce poate fi transportată în condițiile cele mai grele ale parcursului. Vehicolul deplasîndu-se cu viteza constantă, forța de tracțiune F trebuie să fie egală cu rezistența totală ce se opune mișcării, adică (figura 12.1.4)

$$F = G \cdot \cos \alpha \cdot W \pm G \sin \alpha \qquad (12.1.5)$$

unde W este rezistența specifică la mișcarea pe drum orizontal (dată în tabele). Panta fiind de obicei mică, se poate aproxima unghiul pantei cu panta

$$\cos \alpha \cong 1 \,;\; \sin \alpha \cong \operatorname{tg} \alpha = i, \text{ deci } F = G\ (W \pm i). \qquad (12.1.6)$$

Pentru ca vehicolul să se deplaseze, este necesar ca forța de tracțiune să fie mai mică decît forța de aderență T_a și anume

$$F \leqslant T_a = \varphi \cdot G_a \qquad \text{sau} \qquad (12.1.7)$$

$$G(W + i) \leqslant \varphi \cdot G_a \qquad (12.1.8)$$

Scanned with OKEN Scanner

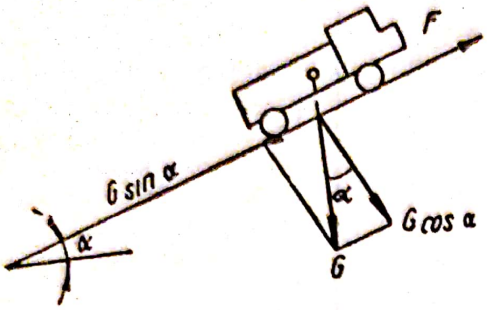


Fig. 12.1.4. Forțele ce apar la mișcarea unui vehicul.

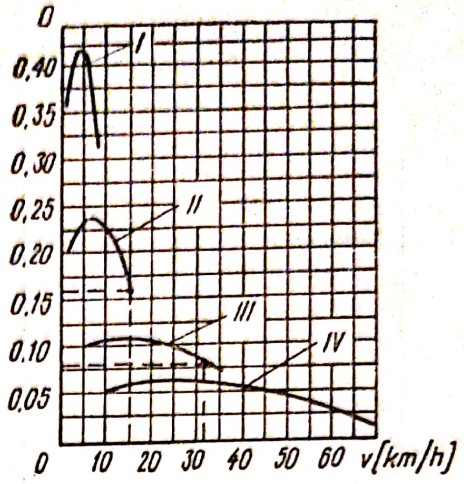


Fig. 12.1.5. Caracteristica dinamică a autovehicolului.

unde φ este coeficientul de aderență (dat în tabele) iar G_a este greutatea de aderență a vehicolului, reprezentînd partea din greutatea totală care revine roților motoare, avînd valoarea $G_a = 10{,}55 - 0{,}75\,G$ pentru autocamioane. Din relația 12.1.8 se calculează panta pe care o poate urca autovehiculul

$$i_{max} = \frac{\varphi \cdot G_a}{G} - W \qquad (12.1.9)$$

Din relația (12.1.6) rezultă factorul dinamic D al autovehicolului

$$D = \frac{F}{G} W \pm i \qquad (12.1.10)$$

a cărui variație, în funcție de viteza vehicolului, constituie caracteristica sa dinamică și este dată în figura 12.1.5, considerînd vehicolul cu patru trepte de viteză. De aci, avînd condițiile de drum (W și i), se deduce viteza v de deplasare.

Productivitatea tehnică a autovehiculelor se determină cu relația 12.1.1, exprimînd greutatea încărcăturii Q în tone și considerînd timpul t ca durată unui ciclu (încărcare, ducere, descărcare și revenirea în gol).

Transportul feroviar se realizează cu vagoane sau vagonete, remorcate de locomotive, avînd avantajul unei rezistențe specifice mult mai mici decît a drumurilor. Se utilizează la transporturile de volum mare și distanțe lungi.

Se mai folosesc vagonete basculante împinse manual, pe căi ferate înguste (de obicei, în incinta șantierelor, pe distanțe mici).

12.1.2. **Mașini și instalații pentru transportul continuu.** Transportul continuu se utilizează pentru deplasarea materialelor friabile (pietriș, var, ciment etc.) și a amestecurilor de beton și mortar. În alegerea metodei și a utilajului adecvat, este necesar cunoașterea principalelor proprietăți a acestor materiale și anume:

— granulozitatea, care indică dacă materialele sînt sortate $\left(\frac{D_{max}}{D_{min}} < 2{,}5\right)$ sau nesortate $\left(\frac{D_{max}}{D_{min}} > 2{,}5\right)$, unde D_{max} şi D_{min}, reprezintă dimensiunile maximă respectiv minimă a granulelor, pe baza căreia se alege organul de lucru (cupă, bandă etc.), valorile ei fiind date în tabele.

— unghiul taluzului natural φ este unghiul de frecare internă a particulelor şi determină încărcarea posibilă de material pe organul de transport al maşinii. Se determină experimental prin turnarea materialului dintr-un punct pe un plan. Valoarea sa maximă se numeşte unghiul taluzului natural în repaus φ_0, valorile lui fiind date în tabele.

— coeficientul de frecare ale materialului faţă de organul de transport, determină înclinarea pe care o pot lua aceste organe. Se utilizează fie coeficientul de frecare al materialului în repaus μ_0, fie în mişcare μ, valorile lui fiind date în tabele.

— greutatea specifică γ şi starea materialului, determină alegerea dimensiunilor constructive ale elementelor de susţinere a materialului, a tipului şi dimensiunilor utilajului de transport.

După modul de acţionare şi principiul de funcţionare, utilajele pentru transportul continuu se clasifică în: transportoare mecanice; transportoare pneumatice; transportoare hidraulice; transportoare gravitaţionale; schemele, diversificarea şi domeniile lor de utilizare, sînt date în tabela 12.1.4 şi figura 12.1.6.

12.1.2.1. *Transportoare mecanice.* Transportoarele cu bandă (figura 12.1.7) au ca organ de lucru o bandă fără sfîrşit 1, întinsă între tamburii 2 şi 4, susţinută pe reazeme intermediare cu rolele 7 şi care este antrenată de tamburul motor 2, situat la capătul de descărcare al transportorului. Cele mai răspîndite sînt benzile textile cauciucate (3—12 inserţii textile), care au o lăţime cuprinsă între 300 şi 1600 mm şi se pot utiliza între —20°C şi 60°C, lungimea unei benzi fiind de maximum 250 m (sau chiar 2000 m utilizînd inserţii din fire de oţel).

Rolele de susţinere se aşază pe partea activă (încărcată) la distanţe de 1—1,5 m, astfel ca banda să fie dreaptă (de ex. la transportul cărămidei, figura 12.1.8) sau în formă de jgheab (figura 12.1.9). Pe partea nelucrătoare (de întoarcere) a benzii, rolele se montează la 2,5 — 4 m, banda fiind totdeauna plană.

Mecanismul de acţionare se compune din motorul M, de obicei electric, sistemul de transmisii şi unul sau două tambure motoare (pentru puteri mari). Pentru crearea forţei de frecare corespunzătoare între bandă şi tambur, banda se menţine încontinuu întinsă, cu ajutorul unor dipozitive de întindere cu şurub (la transportoarele scurte 40—50 m) sau cu contragreutate.

Încărcarea benzii se realizează cu ajutorul pîlniilor de încărcare, urmărind ca unghiul de înclinare α_1 al pereţilor pîlniei, să fie mai mare decît unghiul de frecare material-pîlnie 3, iar înclinarea jgheabului de distribuire a materialului pe bandă α_2, mai mică în cazul cînd viteza de cădere a materialului este apropiată de viteza benzii (fig. 12.1.10), astfel ca $\alpha_1 > \alpha_2 > 0$.

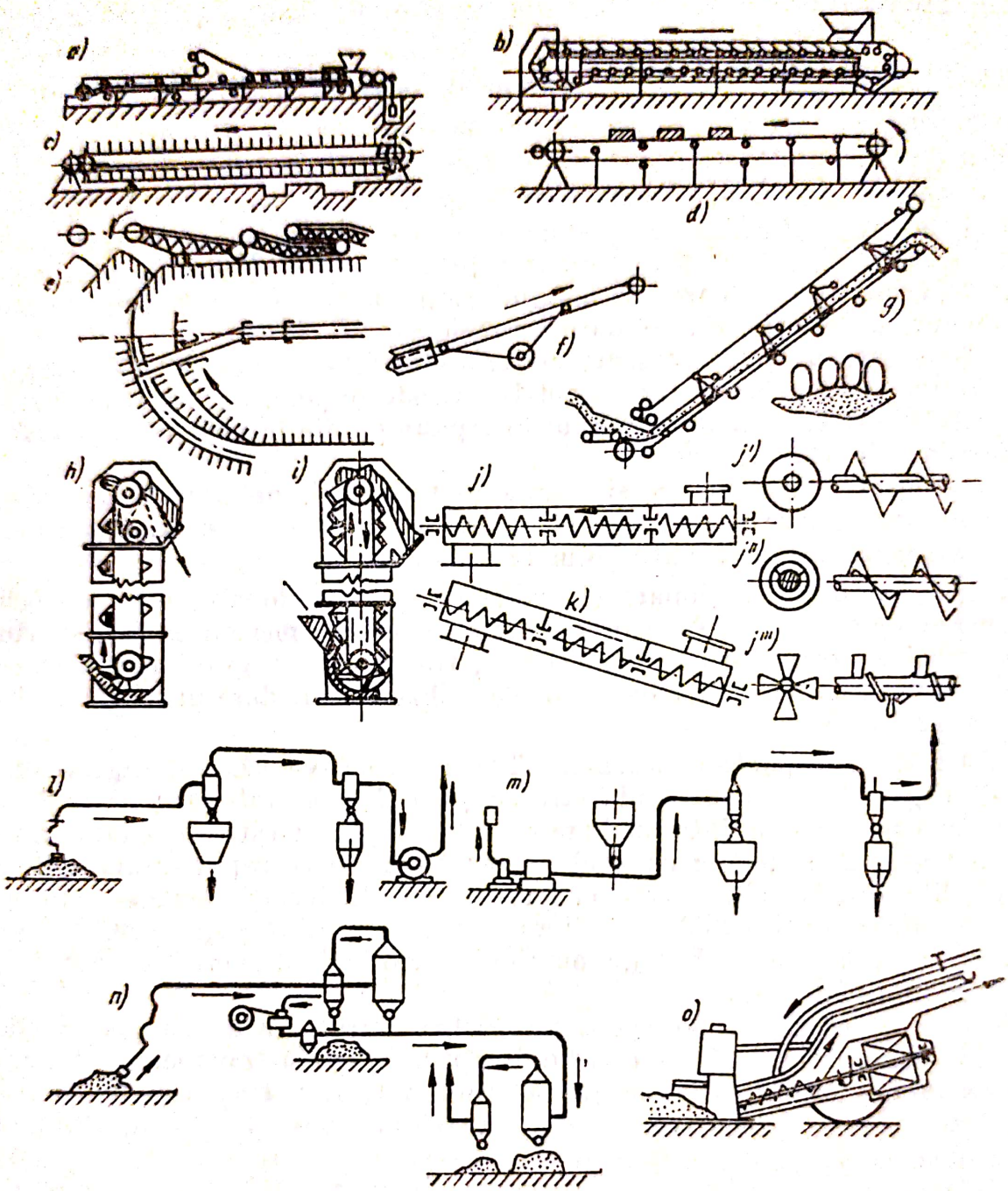


Fig. 12.1.6. Schemele instalaţiilor pentru transportul continuu (vezi şi tabela 12.1.6).

Descărcarea materialului de pe bandă se face fie deasupra tamburelor finale, prin răsturnare, fie cu ajutorul dispozitivelor de descărcare cu cărucior mobil sau cu plug sau jgheab de dirijare.

Transportoarele cu bandă mai sînt prevăzute cu un dispozitiv de curăţire a benzii de materialul rămas pe ea şi un dispozitiv de blocare a benzii, în timpul opririi neprevăzute a motorului de acţionare.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.4

Clasificarea şi domeniile de utilizare ale transportoarelor mecanice şi pneumatice

Tipul instalaţiei de transport	Denumirea maşinii sau a instalaţiei		Schema din fig.	Domeniul de utilizare
1	2	3	4	5
Transportoare mecanice	Transportoare cu bandă	Transportoare cu bandă cauciucată (plană sau jgheab)	Fig. 12.1.6 a	Transportul materialelor în vrac sau granulare pe orizontală (150 ... 300 m) sau pe un plan înclinat (25 ... 30°). Sînt cele mai răspîndite.
		Transportoare cu plăci	Fig. 12.1.6 b	Transportul materialelor în bucăţi mari sau bolovani, a elementelor grele, la circa 100 m pe o orizontală sau sub un unghi de 30... 35° faţă de orizontală
		Transportoare cu racleţi	Fig. 12.1.6 c	Transportul materialelor granulare sau măcinate la distanţe relativ mici pe orizontală sau pe un plan înclinat (sub 30°)
		Transportoare cu cabluri	Fig. 12.1.6 d	Transportul elementelor prefabricate şi a blocurilor mici
	Elevatoare cu cupe	Elevatoare cu cupe plate	Fig. 12.1.6 h	Ridicarea materialelor mărunte şi mijlocii aderente puţin abrazive, cu viteze relativ mari (materiale pulverulente aderente, ciment, gips, nisip umed etc.)
		Elevatoare cu cupe adînci	Fig. 12.1.6 h	Ridicarea materialelor mărunte şi mijlocii neaderente şi puţin abrazive (materiale pulverulente neaderente, pietriş, cărbune etc), cu viteze relativ mari
		Elevatoare cu cupe — solzi	Fig. 12.1.6 i	Ridicarea materialelor abrazive şi cu dimensiuni mai mari a materialelor casante etc., cu viteze reduse
	Transportoare cu melc	Transportoare cu melc continuu	Fig. 12.1.6 j—j′	Transportul nisipului, cimentului, cărbunelui pe distanţe pînă la 30 m şi înclinări de maximum 20° faţă de orizontală
		Transportoare cu melc bandă	Fig. 12.1.6 j—j′	Transportul materialelor cu granulaţii mai mari a materialelor care aglomerează etc.
		Transportoare cu melc palete	Fig. 12.1.6 j—j‴	Transportul amestecurilor plastice, beton, argilă, soluţii, agregate mărunte etc.
	Transportoare vibratoare	Transportoare cu conducte vibratoare	—	Transportul agregatelor, betoanelor etc.
		Transportoare cu jgheaburi vibratoare	—	Idem.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.4 (continuare)

1	2	3	4	5
Instalaţii pentru transportul pneumatic	Instalaţii cu aspiraţie		Fig. 12.1.6 l	Transportul pneumatic al materialelor de masă pulverulente şi granulare (în special ciment) la distanţe şi înălţimi relativ mici
	Instalaţii cu refulare		Fig. 12.1.6 m	Idem, la distanţe şi diferenţe de nivel mari
	Instalaţii mixte (combinate)		Fig. 12.1.6 n	Preluarea materialelor pulverulente (ciment) şi granulare din diferite puncte ale depozitului şi refularea lor la distanţe mari
Instalaţii pentru transport hidraulic			—	Vezi paragraful 11.2.

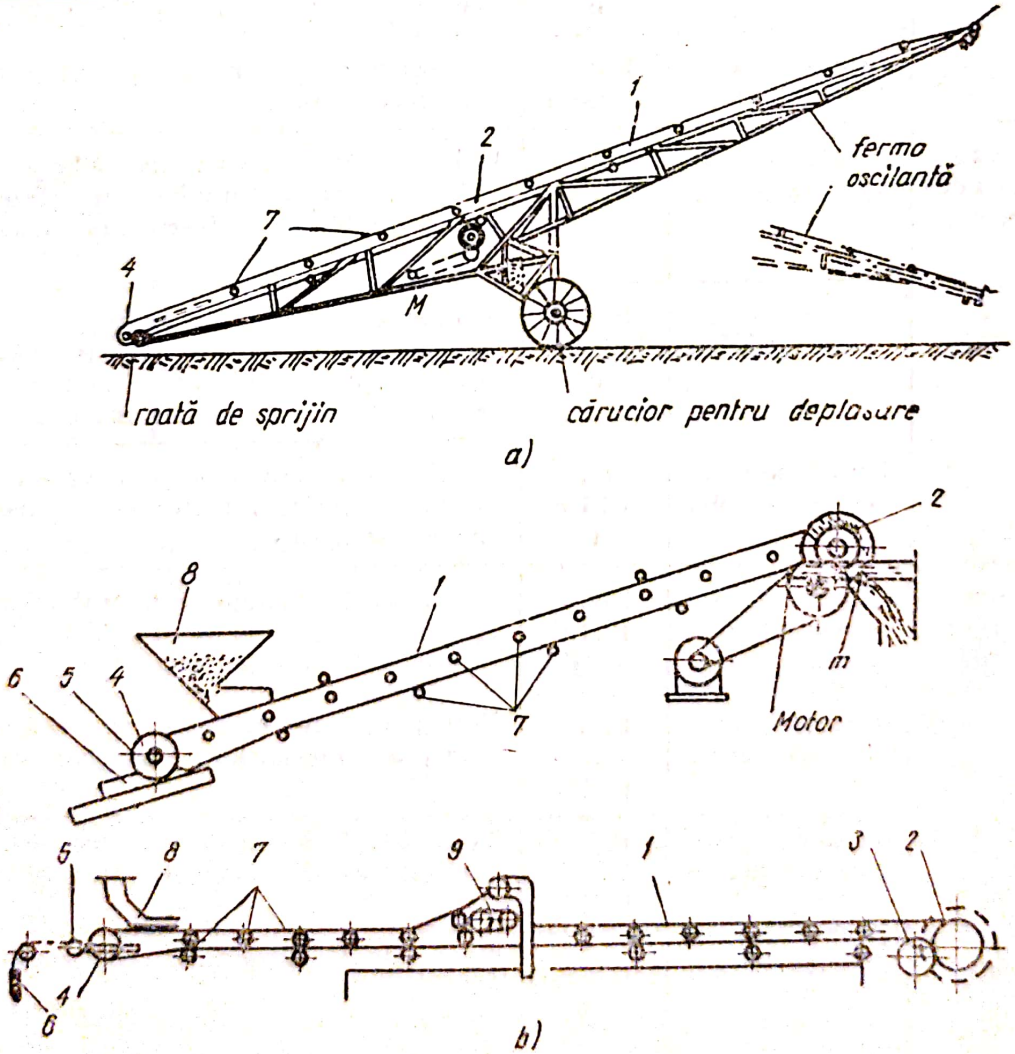


Fig. 12.1.7. Transportoare cu bandă:

a — mobile; *b* — staţionare; *1* — bandă; *2* — tambur motor; *3* — tambur de ghidaj; *4* — tambur de întoarcere; *5* — dispozitiv de întindere; *6* — contragreutate; *7* — role; *8* — pîlnie de încărcare; *9* — cărucior de descărcare.

Scanned with OKEN Scanner

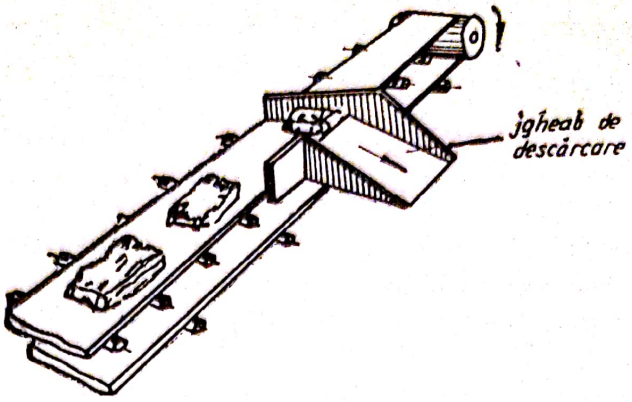


Fig. 12.1.8. Transportor cu bandă dreaptă.

Transportoarele mobile au în plus, mecanismele de deplasare și de modificare a înălțimii de transport

Caracteristicile tehnice ale principalelor tipuri de transportoare mecanice utilizate în țara noastră sînt date în tabele.

Plecînd de la proprietățile materialelor transportate, se determină următoarele mărimi:

— panta maximă admisibilă depinzînd de unghiul taluzului natural, coeficientul de frecare material-bandă etc., care împreună cu lungimea transportorului ne permit calculul înălțimii maxime de ridicare;

— lățimea benzii B, în m, care se calculează cu relațiile:

$$B = \sqrt{\frac{P_t}{\psi \cdot C_1 \cdot \gamma \cdot v}} \text{ [m], pentru benzi plate} \qquad (12.1.10)$$

$$B = \sqrt{\frac{P_t}{\psi \cdot c_2 \cdot \gamma \cdot v}} \text{ [m], pentru benzi jgheab} \qquad (12.1.11)$$

unde: P_t este productivitatea tehnică necesară în t/h; ψ este un coeficient subunitar legat de micșorarea productivității, datorită alunecării materialului; c_1 și c_2 sînt coeficienți dependenți de bandă și unghiul de taluz

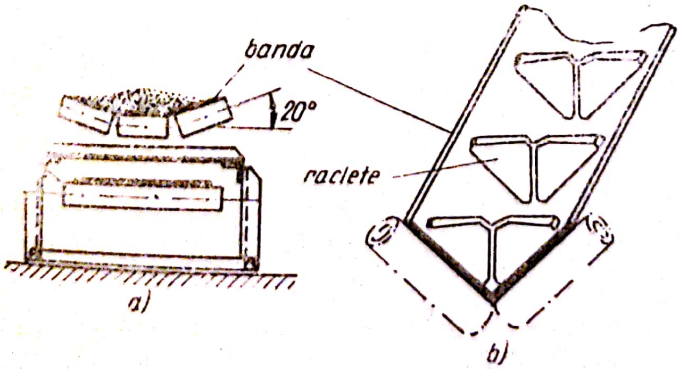


Fig. 12.1.9. Transportor cu bandă jgheab:
a — pentru unghiuri de înclinare mici; *b* — cu racleți, pentru unghiuri mari

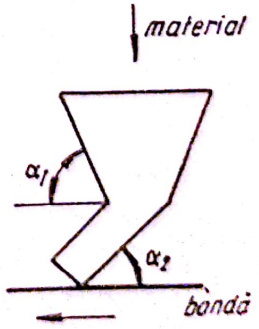


Fig. 12.1.10. Principiul schematic al pîlniei de încărcare.

natural, fiind dați în tabele; γ este greutatea volumetrică în tf/m³; v este viteza benzii. B trebuie să satisfacă și condițiile:

$$B \geqslant 3{,}3\frac{D_{max}+D_{min}}{2}+0{,}2 \quad [\text{m}] \text{ materiale vărsate sortate;} \qquad (12.1.12)$$

$$B \geqslant 2D_{max}+0{,}2 \quad [\text{m}] \text{ materiale vărsate nesortate;} \qquad (12.1.13)$$

$$B \geqslant D+0{,}1 \quad [\text{m}] \text{ bucăți mari.} \qquad (12.1.14)$$

În aceste relații D_{max} și D_{min} au semnificațiile cunoscute iar D este dimensiunea maximă a celei mai mari bucăți.

— viteza benzii, v fiind dependentă de lățimea benzii și proprietățile materialului transportat se dă în tabele.

— raza curbelor de racordare ρ, a traseului, este dată de relația $\rho =$ 12. B, pentru curbele de racordare cu convexitatea în sus și

$$\rho = \frac{F}{g} \qquad \left[\frac{\text{kgf}}{\text{kgf/m}}\right] = [\text{m}] \qquad (12.1.15)$$

pentru curbele cu convexitatea în jos; F este efortul în bandă în punctu de racordare și g este greutatea benzii.

— rezistența benzii la înaintare, care diferă pentru fiecare porțiune caracteristică a benzii și al cărei calcul depășește volumul lucrării de față, fiind dat în bibliografie.

— determinarea eforturilor din ramurile benzii și a puterii necesare pentru acționare, se face în două faze: calculul preliminar (verificarea benzii), bazat pe determinarea unei puteri aproximative și a unei forțe maxime în bandă, și un calcul exact, cu care se verifică rezultatele obținute anterior (fig. 12.1.11).

În prima etapă se determină puterea N absorbită de tamburul motor cu formula aproximativă

$$M \cong \frac{1}{1{,}36}[(0{,}004\,P_t \cdot H + 0{,}0002\,P_t \cdot L + 0{,}04 \cdot L \cdot B \cdot v)c \cdot c' + c'' \cdot P_t] \quad [\text{kW}] \qquad (12.1.16)$$

unde: H este înălțimea de transport; L — proiecția pe orizontală a lungimii transportorului; c, c' și c'' — coeficienți empirici.

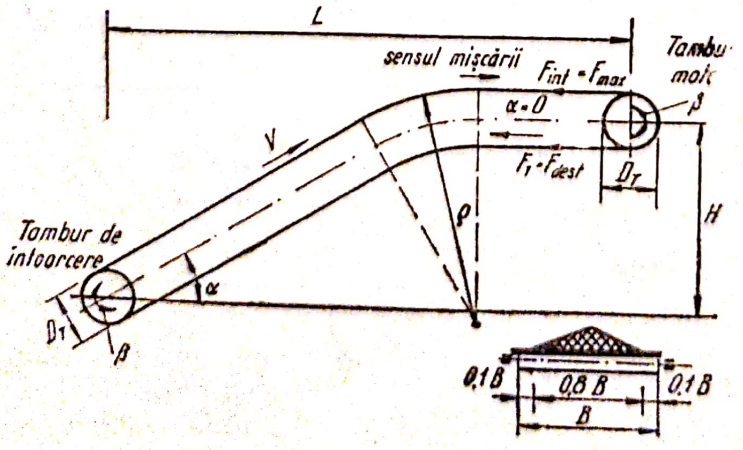


Fig. 12.1.11. Principiul schemei de calcul al transportului cu bandă.

Se determină apoi forţa periferică F_N transmisă de tamburul motor

$$F_N = \frac{102 \cdot N}{v} \qquad (12.1.17)$$

şi forţa maximă în bandă, $F_{max} = F_{inf}$,

$$F_{max} = \frac{102 \cdot N}{v} \cdot \frac{e^{\mu\beta'}}{e^{\mu\beta'} - 1} \cdot 9{,}81 \quad [N] \qquad (12.1.18)$$

unde: μ este valoarea medie a coeficientului de frecare bandă-tambur; $e^{\mu\beta'} = \frac{1}{c_p} \cdot e^{\mu\beta}$ este unghiul de înfăşurare a benzii pe tambur, dat în tabele; $c_p = 1{,}2$, este coeficient de siguranţă la patinarea benzii pe tambur. În continuare se poate determina numărul i de inserţii în bandă

$$i = \frac{c_t \cdot F_{max}}{B \cdot F_r} \qquad (12.1.19)$$

unde: $C_t = 9 - 11$ este coeficientul de siguranţă al benzii; F_r — forţa de rupere a unei inserţii pe 1 cm lăţimea ($F_r = 55$ kgf/cm — inserţii normale bumbac, 225 kgf/cm inserţii sintetice, etc).

Diametrele tamburilor D_t se stabilesc în funcţie de i, astfel ca uzura benzi să fie minimă: tambure motoare — $D_t = (100 - 125) \cdot i$ [mm]; tambure de întindere — $D_t = (80 - 100) \cdot i$ [mm].

Puterea motorului de acţionare se calculează cu relaţia

$$N = \frac{F_N \cdot v}{102 \cdot \eta} \quad [kW] \qquad (12.1.17')$$

unde η este randamentul reductorului.

Productivitatea transportoarelor cu bandă se determină cu relaţiile din tabela 12.1.5.

Ca particularităţi de exploatare se menţionează simplitatea, întreţinerea uşoară, greutate redusă, consum redus de energie şi productivitate mare. Se utilizează cel mai des banda jgheab cauciucată, iar pentru materiale fierbinţi, corozive sau cu aderenţă mare, benzi de oţel.

Elevatoarele cu cupe (fig. 12.1.12) se utilizează la transportul materialelor friabile sau în bucăţi pe direcţia verticală, sau aproape de verticală, pînă la înălţimi de cca. 50 m şi cu un debit foarte extins: de la m^3 la 100 m^3 material transportat pe oră.

Echipamentul de lucru este constituit dintr-un organ de tracţiune (bandă la puteri mici sau lanţ cu eclise la puteri mari), pe care sînt fixate organele de lucru—cupele — la intervale mari (cupele adînci şi plate) sau fără interval (cupele solzi). Cupele se construiesc din oţel sau fontă turnată (adînci şi plate) şi din tablă, prin presare sau sudare (cupele solzi).

Construcţia tamburelor (respectiv roţi de lanţ), dispozitivelor de acţionare şi schemele de acţionare, sînt similare cu ale transportoarelor cu bandă.

Scanned with OKEN Scanner

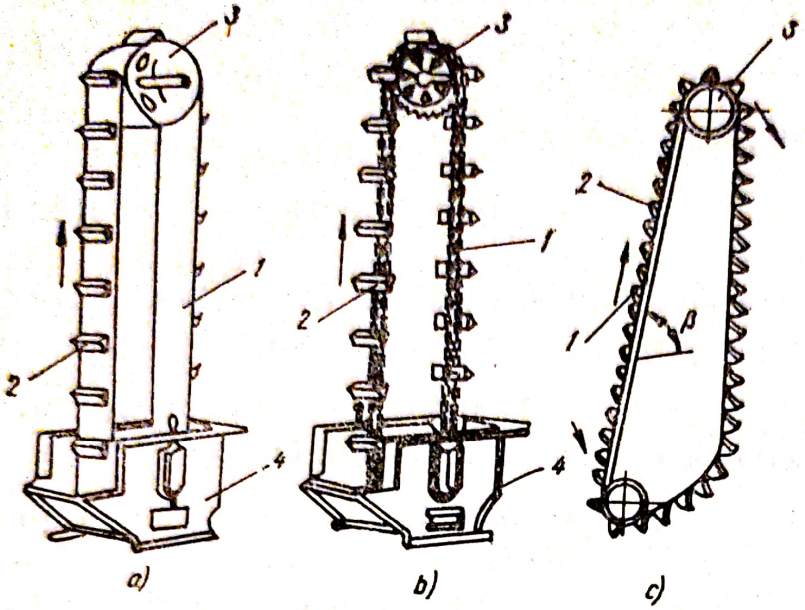


Fig. 12.1.12. Elevatoare cu cupe:
a — cu cupe adînci sau plate pe bandă; *b* — idem, pe lanț; *c* — cu cupe solzi; *1* — organ de tracțiune; *2* — cupă; *3* — tambur de antrenare; *4* — baza cu tamburul de încărcare și dispozitivul de întindere.

Încărcarea și descărcarea cupelor se realizează după schemele din figura 12.1.13.

Acționarea elevatorului este de obicei electrică, iar sistemul de transmisie, mecanic.

Funcționarea sa este următoarea: materialul, introdus la partea inferioară în dispozitivul de încărcare, este încărcat în cupe, ridicat cu ajutorul mecanismului de antrenare a cupelor și descărcat la partea superioară a elevatorului, după una dintre metodele arătate.

Problemele fundamentale de calcul sînt următoarele:

— determinarea mărimii cupelor; se face plecînd de la valoarea capacității liniare a elevatorului q/b

$$\frac{q}{b} = \frac{P}{3{,}6 \cdot v \cdot \gamma \cdot k_v} \qquad (12.1.20)$$

unde: q este capacitatea geometrică a cupei în l; b — pasul cupelor (m); P — productivitatea elevatorului (t/h); v — viteza elevatorului, de cca. 0,8—1,5 m/s; γ — greutatea volumetrică a materialului transportat (tf/m³);

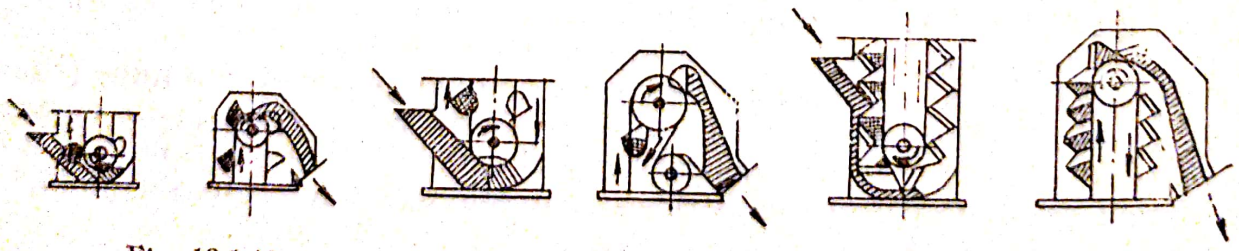


Fig. 12.1.13. Schemele de încărcare — descărcare a cupelor de elevator:
a — încărcare prin sabot, descărcare centrifugală; *b* — idem, descărcare gravitațională; *c* — încărcare prin turnare directă, descărcare gravitațională ghidată.

Productivitatea mașinilor și instalațiilor pentru transportul continuu *Tabela 12.1.5*

Denumirea	Unitatea de măsură	Productivitatea		Valorile coeficienților	Simbolii
		Cantități realizabile	Formula de calcul		
1	2	3	4	5	6
Transportoare cu bandă	mc/h	Materiale granulare sub 1000 (transp. fixe) 60...300 (transp. mobile) obișnuit 60 ... 100	$P = 3600 \cdot A \cdot v \cdot K_i$* pentru banda plană: $A = 0{,}16B^2 \cdot \operatorname{tg}\frac{\varphi_0}{2} \simeq$ $\simeq 0{,}05\ B^2$** pentru banda jgheab: $A = \left(0{,}16 \operatorname{tg}\frac{\varphi_0}{2} + 0{,}06\right)B^2 \simeq$ $\simeq 0{,}11\ B^2$ ***	pentru $\alpha \leqslant 10°$; $K_i = 1$ $10° < \alpha \leqslant 15°$; $K_i = 0{,}95$ $15° < \alpha \leqslant 18°$; $K_i = 0{,}90$ $18° < \alpha \leqslant 22°$; $K = 0{,}80$ $\alpha \geqslant 22°$; $K_i = 0{,}75$	A — este suprafața secțiunii materialului în mp. v — viteza benzii, în m/s; K_i — coeficientul de reducere al productivității α — înclinația benzii față de orizontală; B — lățimea reală (desfășurată) a benzii, în m; φ_0 — unghiul de taluz natural în stare de mișcare; Q — greutatea unei bucăți transportate, în tf; b — distanța dintre bucăți, cupe, etc., în m; q — capacitatea geometrică a cupei K_u — coeficientul de umplere al cupelor, melcului, etc. D — diametrul melcului, în metri.
	t/h	Materiale în bucăți	$P_{expl} = 3600 \cdot Q \cdot \frac{v}{b}$	—	
Elevatoare cu cupe	mc/h	10...160 obișnuit: 10...50	$P = 3{,}6 \cdot q \cdot \frac{v}{b} \cdot K_v$****	$K_v = 0{,}15 \div 0{,}85$ pulberi $K_v = 0{,}15 \div 0{,}80$ gran. < < 60 mm $K_v = 0{,}60 \div 0{,}70$ gran. > > 60 mm	
Transportoare cu melc	mc/h	5 ...100 obișnuit: 5...40	$P = 60 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot s \cdot n \cdot K_v \cdot K_i$****	$K_v = 0{,}25 \div 0{,}40$ (ciment, gips, rumeguș, nisip, var, mortar) $K_v = 0{,}15 \div 0{,}30$ (argilă, betoane) $\alpha = 0°$; $K_i = 1$; $\alpha = 5°$; $K_i = 0{,}9$; $\alpha = 10°$; $K_i = 0{,}8$; $\alpha = 15°$; $K_i = 0{,}1$; $\alpha = 20°$; $K_i = 0{,}65$	
Instalațiile de transport pneumatic	t/h	Cu aspirație: 10...60 Cu refulare 25...160	$P = 3{,}6 \cdot \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot v_0 \cdot \gamma \cdot \partial$	∂ se ia din tabele în funcție de tipul instalației și de natura materialului	

* Pentru a obține productivitatea în t/h, se multiplică cu greutatea volumetrică a materialului, în vrac
** Pentru nisip, pietriș, piatră de râu, calcar, ciment, pământ afînat
*** Pentru un unghi de înclinare a axelor rolelor în secțiunea transversală de 20°
**** Pentru a obține productivitatea în t/h se multiplică cu greutatea materialului în vrac

Scanned with OKEN Scanner

$k_v = 0{,}60-0{,}85$ este coeficientul de umplere al cupei. Deschiderea cupei trebuie să fie de 2—6,4 ori mai mare decît D_{max} a materialului, în funcție de procentul granulelor cu D_{max} din greutatea totală a materialului.

— determinarea rezistenței la înaintare a cupelor; se face după determinarea eforturilor din ramurile elevatorului.

— determinarea eforturilor din ramurile organului de tracțiune și a puterii necesare pentru acționare; se face apreciind empiric greutatea G a elementelor mobile ale transportorului, cu relația:

$$G = \xi \cdot P \quad [\text{kgf/m}] \qquad (12.1.21)$$

(unde ξ este un coeficient dependent de elevator, ale cărui valori sînt date în tabele și calculînd forțele în fiecare punct caracteristic al organului de tracțiune. Forța periferică, transmisă de tamburul (roata motoare, se determină cu relația

$$F_N = F_{inf} - F_{desf} + R_{tm} \qquad [\text{kgf}] \qquad (12.1.22)$$

unde F_{inf} și F_{desf} reprezintă eforturile din ramurile care se înfășoară respectiv se desfășoară pe tamburul (roata) motor, iar R_{tm} este rezistența la trecerea organului de tracțiune peste tamburul (roata) motor.

Puterea necesară pentru motorul de acționare, se determină cu relația (12.1.17').

Utilizarea elevatoarelor cu cupe plate se indică la ridicarea materialelor mărunte și mijlocii, puțin abrazive, umede sau aderente la metal, cu viteze relativ mari; cele cu cupe adînci, la materialele puțin abrazive și neaderente; cele cu cupe-solzi, la transportul materialelor abrazive, casante sau de dimensiuni mari.

Productivitatea elevatoarelor cu cupe, se calculează conform tabelei 12.1.5.

Caracteristicile tehnice ale elevatoarelor verticale, sînt date în tabele.

Transportoarele elicoidale (fig. 12.1.14), sînt mașini staționare care asigură o deplasare uniformă a materialului și un trasport etanș, fără pierderi (materiale pulverulente, granulare și amestecuri plastice), pe orizontală sau cu înclinare mică ($<20°$).

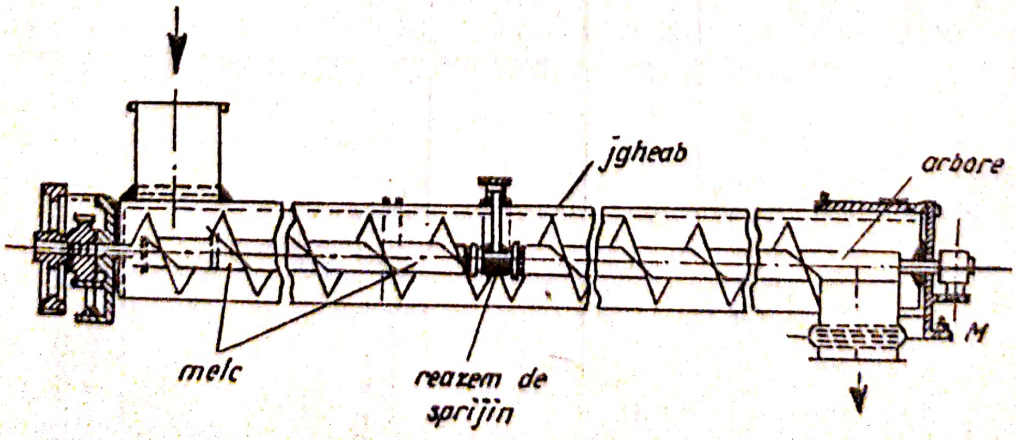


Fig. 12.1.14. Transportor elicoidal.

Echipamentul de lucru este alcătuit dintr-un jgheab semicilindric, în care se roteşte arborele longitudinal şi melcul (cu spiră plină, cu banda elicoidală sau palete), care se construieşte din oţel cu diametrul de 150—600 mm şi are o turaţie cuprinsă între 50—120 rot/min, depinzînd de forma sa constructivă şi materialul transportat. Sistemul de transmisii este mecanic iar acţionarea este electrică.

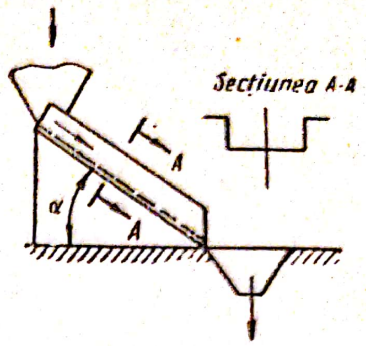


Fig. 12.1.15. Principiul transportorului gravitaţional.

Funcţionarea este următoarea: materialul, introdus prin pîlnia de încărcare în interiorul jgheabului, este antrenat de mişcarea de rotaţie a melcului şi ajungînd la pîlnia (orificiul) intermediar sau final de descărcare, este evacuat.

Dezavantajele acestor transportoare sînt: consumul sporit de energie; productivitate scăzută; uzură rapidă a melcului şi jgheabului la transportul materialelor pulverulente; tendinţe de înfundare ale lagărelor intermediare ale arborelui la transportul materialelor vîscoase.

Se utilizează frecvent transportoarele cu melc continuu, a căror turaţie şi pas, se aleg în funcţie de natura materialului.

Productivitatea transportoarelor elicoidale se calculează conform tabelei 12.1.5.

12.1.2.2. *Transportoare gravitaţionale.* Transportul materialelor se face în acest caz, de sus în jos, sub acţiunea greutăţii proprii.

Materialele, în bucăţi, se transportă cu ajutorul jgheaburilor din lemn sau tablă (fig. 12.1.15) urmărind îndeplinirea condiţiei $\alpha > \rho$, unde ρ este unghiul de frecare dintre material şi suprafaţa jgheabului. Materialele pulverulente se transportă prin burlane închise, de secţiune circulară.

Transportul materialelor unitare, se realizează cu transportoare gravitaţionale pe role.

Avantajul acestor transportoare constă în simplitatea, instalarea rapidă şi preţul de cost redus al lor.

12.1.2.3. *Transportoare hidraulice.* Tratarea acestora, constituie obiectul subcapitulului 12.4.2.

12.1.2.4. *Transportoare pneumatice.* Instalaţiile pneumatice se utilizează pentru transportul materialelor pulverulente prin conducte, cu ajutorul unui curent de aer, prezentînd următoarele avantaje, faţă de transportoarele mecanice: ermetizarea procesului de transport şi evitarea pierderilor; mecanizarea complexă a lucrărilor de încărcare şi descărcare, deci automatizarea transportului; condiţii de igienă a muncii bune; manipulare şi întreţinere simplă. Ca dezavantaje, se menţionează consumul ridicat de energie şi uzura rapidă la transportul materialelor abrazive.

În continuare se vor trata următoarele tipuri de instalaţii pneumatice: cu aspiraţie, cu refulare (în suflare) şi mixte.

Instalaţia pneumatică staţionară cu aspiraţie (fig. 12.1.16) are următoarea funcţionare: pompa de vid 1 absoarbe aerul din conductele 3, ceeace face

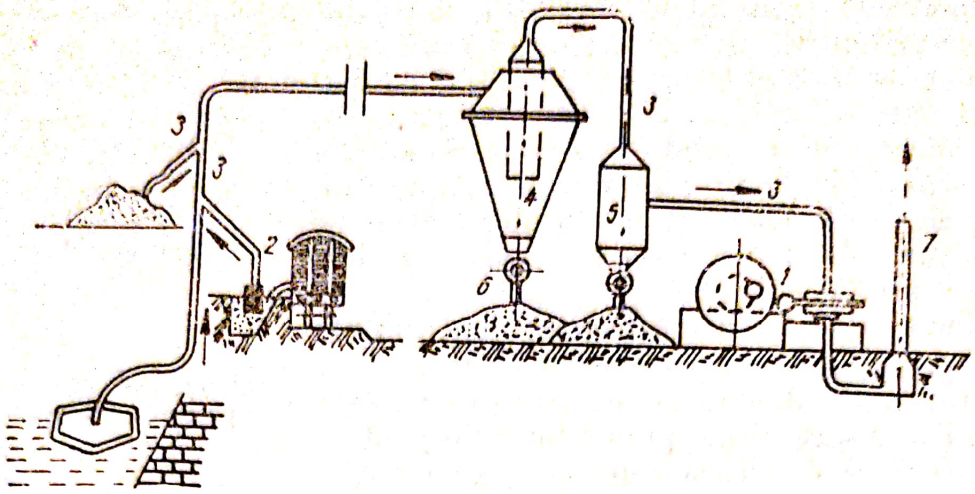


Fig. 12.1.16. Instalaţie de transport pneumatic cu aspiraţie:
1 — pompă; *2* — ajutaj de aspiraţie; *3* — conducte; *4* — ciclon pentru depunerea materialului; *5* — filtru; *6* — guri de descărcare; *7* — conductă de evacuare a aerului.

ca, prin ajutajele de aspiraţie 2, aerul să antreneze particulele de material ce vor fi deplasate prin conducte de către curentul de aer. Ajungînd la ciclonul 4 (buncăr), datorită micşorării bruşte a vitezei curentului, particulele de material se depun la baza ciclonului, amestecul sărac rezultat fiind apoi trecut prin filtrul *J*, unde ultimele particule de material se depun la baza filtrului. Aerul filtrat este evacuat în atmosferă. Materialul transportat este disponibil la gurile de descărcare 6. Depresiunea maximă creată este de 0,5—0,7 at.

Instalaţia pneumatică staţionară cu refulare (fig.1.17) funcţionează pe baza refulării (insuflării) produse de aerul din conducte, la presiunea optimă de 6 At. Aerul comprimat de compresorul 1, antrenează materialul introdus prin pîlnia de alimentare 3 şi îl deplasează pînă la cicloane, unde materialul se depune, ca urmare a reducerii bruşte a vitezei de transport, în acelaşi mod ca la metoda precedentă. Conductele au un diametru cuprins între 50—250 mm, iar lungimea de transport creşte datorită căderii foarte mari de presiune. Acest lucru, însă, provoacă un consum extrem de ridicat de aer comprimat, motiv pentru care s-a realizat un alimentator elicoidal avînd un şurub cu pas variabil, descrescător în sensul înaintării materialului. Se favorizează, constructiv, apariţia unui dop de material la extremitatea melcului, aerul din camera de amestec neputînd astfel intra în tubul alimentatorului.

Instalaţia pneumatică staţionară mixtă îmbină cele două metode tratate anterior: instalaţie cu aspiraţie pînă la pompa de aer şi instalaţie cu refulare de la pompa de aer, transportînd materialul aspirat în prima parte a instalaţiei.

Instalaţia (pompa) pneumatică mobilă, de tipul cu alimentator cu disc găurit şi melc transportă materialul (ciment) la 100—150 m. Pompa este acţionată electric, dispunînd de motoare electrice pentru deplasare pentru acţionarea melcului şi pentru acţionarea alimentatorului.

Scanned with OKEN Scanner

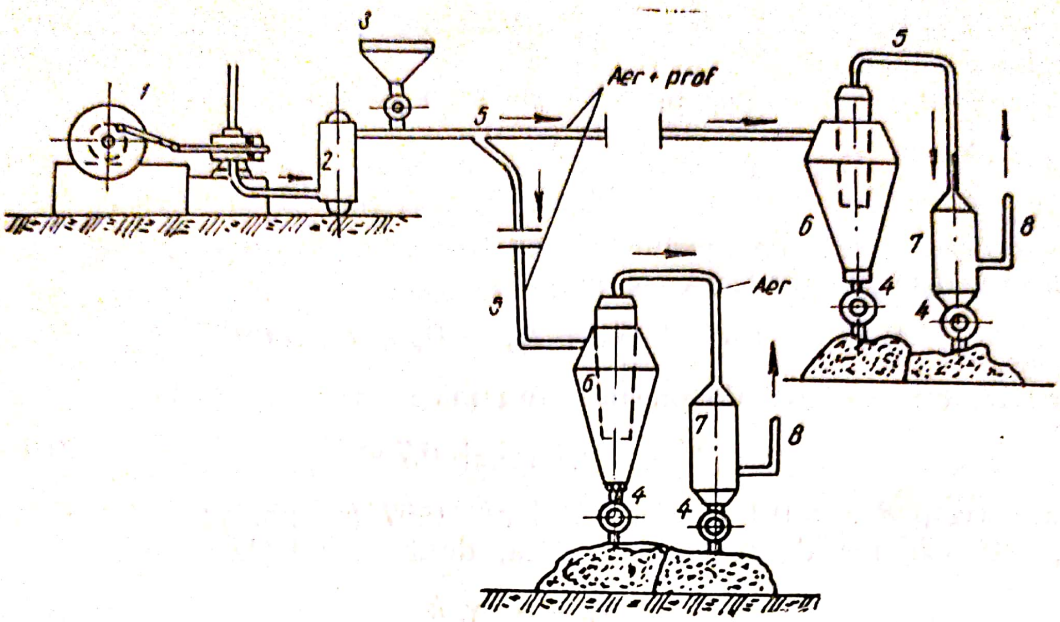


Fig. 12.1.17. Instalație de transport pneumatic prin refulare:
1, 2 — compresor și rezervor de aer; *3* — pîlnie de alimentare; *4* — guri de descărcare; *5* — conducte; *6* — ciclon de depunere a materialului; *7* — filtru; *8* — conductă de evacuare a aerului.

Problemele de calcul ale instalațiilor pneumatice, sînt:

— viteza de plutire a particulelor V_p, reprezintînd viteza unui curent de aer dirijat vertical de jos în sus, la care presiunea dinamică a aerului echilibrează exact greutatea proprie a particulelor și se dă în tabele; se determină cu relația

$$v_p = \sqrt{\frac{28{,}4 \cdot \gamma_m \cdot d}{\gamma_a}} \qquad [\text{m/s}] \qquad (12.1.23)$$

unde: γ_m, γ_a, sînt greutățile specifice ale materialului, respectiv a aerului ($\gamma_a = 1$ kgf/m³); d — diametrul unei sfere cu aceeași greutate specifică și greutate totală ca a particulei; k — coeficient dependent de forma particulei.

Viteza aerului trebuie să fie mai mare decît v_p, pentru a nu se produce separarea materialului transportat de amestec.

— concentrația amestecului ν se dă în tabele și se definește cu relația

$$\nu = \frac{P}{3{,}6 \cdot A \cdot v_0 \cdot \gamma_0} \qquad (12.1.24)$$

unde: P este productivitatea instalației; A — suprafața secțiunii interioare a conductei; v_0 — viteza aerului corespunzătoare la $p_0 = 1$ at; γ_0 — greutatea specifică medie a aerului ($\gamma_0 = 1{,}244$ kgf/m³)

— lungimea echivalentă a conductei de transport L_{ech}, diametrul său interior D_i și viteza de transport v_0, se calculează conform relațiilor din paragraful 12.4.2.

De obicei $v_0 \geq (2{,}5-2{,}8)\ v_p$, la instalațiile cu aspirație, depinzînd, de lungimea conductei;

— debitul de aer necesar pentru transpor V_0 este dat de relația:

$$V_0 = A \cdot v_0 = \frac{P}{3{,}6 \cdot \nu \cdot \gamma_0} = \frac{P}{4{,}3 \cdot \nu} \quad [m^3/s] \qquad (12.1.25)$$

— căderea totală de presiune H pe traseul de transport, exprimată în mm. col. H_2O se calculează cu relația

$$H = H_d + H_v + H_h + H_s + H_c + H_f \ [\text{mm. } H_2O] \qquad (12.1.26)$$

unde: H_d este căderea de presiune dinamică dată de relația

$$H = C \cdot V_0^2 (1 + 0{,}7\,\nu) \qquad (12.1.27)$$

în care avem d $c = 0{,}1$ (aspirație) și $c = 0{,}07$ (refulare);

H_v este căderea de presiune statică, dată de relația

$$H_v = \nu \cdot \gamma_v h \qquad (12.1.28)$$

unde: γ_v este greutatea specifică a aerului pe porțiunea verticală a traseului, iar h — înălțimea coloanei de amestec;

H_h este căderea de presiune pe porțiunile orizontale ale traseului și este dată de relațiile:

$$H_h = p_0 \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \beta v_0^2 \nu L_{ech}}{D_i}}\right) \text{ pentru instalații cu aspirație} \qquad (12.1.29)$$

$$H_h = p_0 \left(\sqrt{1 + \frac{\beta \cdot v_0^2 \nu L_{ech}}{D_i}} - 1\right) \text{ pentru instalații cu refulare}$$

unde p_0 este presiunea atmosferică iar β un coeficient dependent de presiunea și greutatea specifică a aerului;

H_s este căderea de presiune la trecerea aerului prin separator (150—300 mm. H_2O);

H_c este căderea de presiune la trecerea aerului prin ciclon, avînd valoarea dată de relația

$$H_c = \xi \frac{\gamma_a \cdot v_a^2}{2g} \qquad (12.1.30)$$

în care: γ_a și v_a reprezintă valorile la intrarea în ciclon: $\xi = 1{,}5-2{,}5$,

H_f, căderea de presiune la trecerea aerului prin filtru (50—100 mm H_2O) este dată de relația

$$H_f = 0{,}3 \cdot V^{1{,}282} \qquad (12.1.31)$$

V fiind volumul de aer ce trece prin unitate de timp, pe unitatea de suprafață a sitei filtrante;

— presiunea la intrarea în pompa de aer (aspiraţie) sau la ieşirea din compresor (refulare), p, este dată de relaţiile

$$\left.\begin{aligned} P &= 1 - (1{,}05 \div 1{,}1)\frac{H}{10^4}\ \text{[ata]}, \quad \text{la intrare în pompa de aer} \\ P &= 1 + (1{,}5 \div 1{,}25)\frac{H}{10^4} + (0{,}3 \div 0{,}5)\ \text{[ata]}, \text{ la ieşirea din compresor;} \end{aligned}\right\} \quad (12.1.32)$$

— puterea N, absorbită în cazul instalaţiilor cu secţiune constantă, se calculează cu relaţia

$$N = \frac{c \cdot W}{102\,\eta} \qquad \text{[kW]} \qquad (12.1.33)$$

unde: W este lucrul mecanic efectuat pe secundă de cantitatea de aer ce trece de-alungul conductei de transport: $c \cong 1{,}1$ este coeficient datorită neetanşeităţii instalaţiei; $\eta = 0{,}55—0{,}57$ este randamentul total al pompei de aer; W se calculează cu relaţiile

$$\left.\begin{aligned} W &= 10^4 \cdot v_0 \cdot \ln\frac{10^4}{10^4 - H} \quad \text{[kgfm/s]}, \quad \text{la aspiraţie} \\ W &= 10^4 \cdot v_0 \cdot \ln\frac{10^4 + H}{10^4} \quad \text{[kgfm/s]} \quad \text{la refulare.} \end{aligned}\right\} \quad (12.1.34)$$

Productivitatea instalaţiilor pneumatice se determină cu relaţiile din tabela 12.1.5.

Dintre indicaţiile de exploatare menţionăm: utilizarea instalaţiilor cu aspiraţie la distanţe mici şi pentru productivităţi reduse; utilizarea instalaţiilor cu refulare la distanţe mai mari de transport şi cu productivitate sporită; combinarea celor două sisteme pentru cazul distanţelor mari de transport; utilizarea pompelor pneumatice mobile în cazul şantierelor curente.

12.1.3. **Maşini de încărcat şi descărcat.** Maşinile de încărcat şi descărcat sînt alcătuite dintr-un mecanism de deplasare, putîndu-se grupa după cum urmează:

— *maşini de încărcat cu acţiune periodică*, la care procesul încărc ării descărcării se realizează ciclic, cele mai reprezentative fiind: încărcătoarele cu cupă, cu descărcare frontală, frontală şi laterală (fig. 12.1.18 a, b, c, e, f), încărcătoarele cu furci (fig. 12.1. 18. d) şi încărcătoarele cu echipament universal, majoritatea lor existînd montate atît pe pneuri cît şi pe şenile. Se utilizează pentru materiale în bucăţi:

— *maşini de încărcat cu acţiune continuă*, la care procesul încărcării-descărcării şi transportului se realizează continuu, cu ajutorul unui lanţ de cupe, rotor, freză, etc., dintre care amintim: încărcătoarele cu mai multe cupe, de tip elevator sau scarificator (fig. 12.1.18 g şi h), încărcătoarele cu rotor (fig. 12.1.18, i) şi cele cu lopată — freză sferică (fig. 12.1.18.j). Pentru

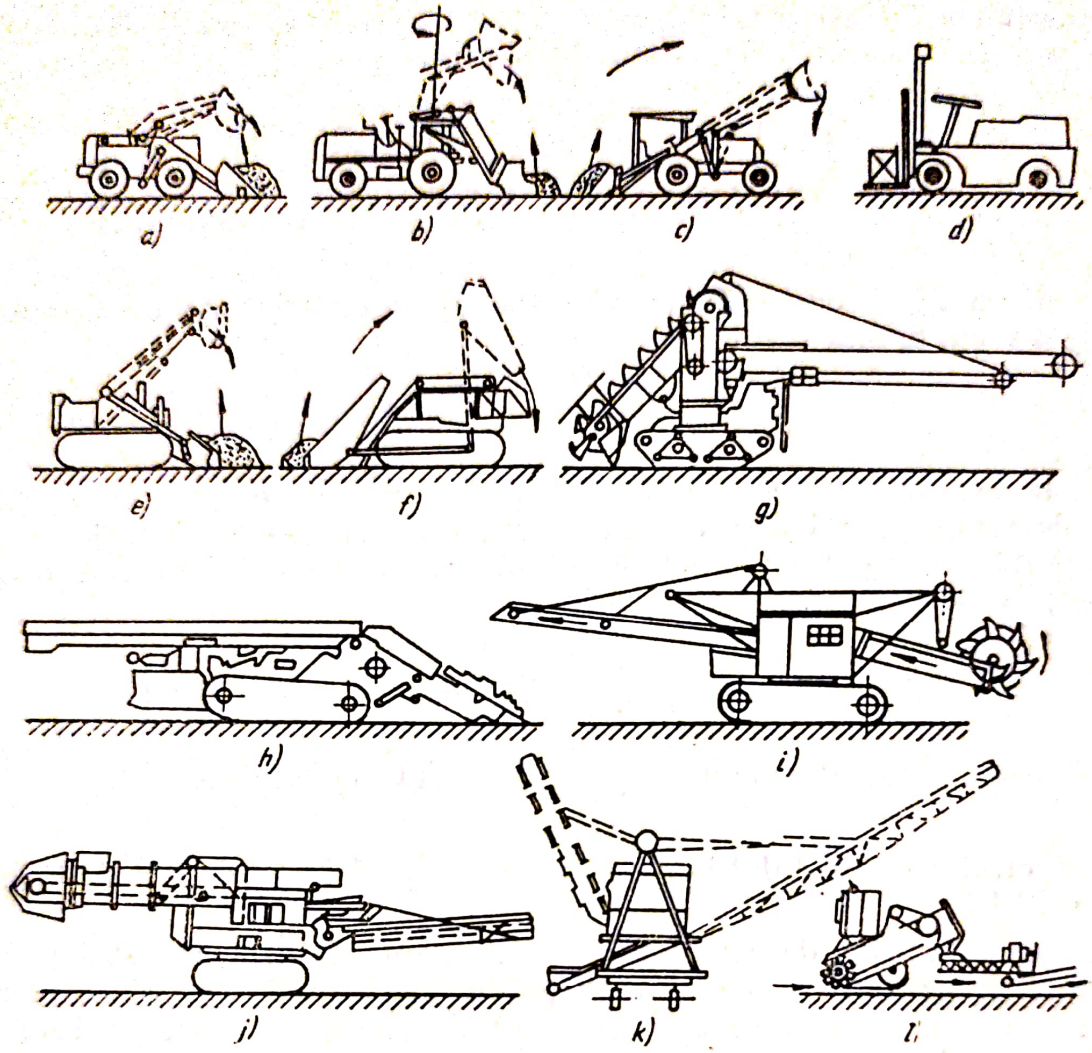


Fig. 12.1.18. Maşini de încărcat şi descărcat:
a, *e* — încărcător cu cupă cu descărcare frontală, pe roţi respectiv şenile; *b* — idem, cu descărcare frontală şi laterală; *c*, *f* — idem, cu descărcare peste cap, pe roţi respectiv şenile; *d* — încărcătoare cu furci; *g* — încărcător cu mai multe cupe de tip elevator; *h* — idem, de tip scarificator; *i* — încărcător cu rotor; *j* — încărcător cu lopată — freză sferică; *k* — descărcător de agregate; *l* — descărcător de ciment cu melc.

terenuri grele se montează pe şenile, iar pentru terenuri uşoare pe pneuri. Se utilizează pentru materialele granulare, săpături uşoare, exploatarea carierelor etc.;

— *maşini de descărcat*, efectuînd descărcarea continuu, ca de exemplu: descărcătoarele de agregate (fig. 12.1.18 k) şi descărcătoarele de ciment cu melc (fig. 12.1.18 l) sau pneumatice (vezi paragraful 12.1.2).

Încărcătorul hidraulic cu o cupă şi descărcare frontală şi laterală (fig. 12.1.18b) are echipamentul de lucru compus dintr-o cupă basculantă, montată la extremitatea săgeţii, acţionată hidraulic, printr-un sistem de transmisii mecano — hidraulc. Acţionarea căruciorului de deplasare este mecanic realizată de obicei cu motor Diesel.

Scanned with OKEN Scanner

Încărcătorul cu mai multe cupe, de tip elevator (fig. 12.1.18 g), are echipamentul de lucru compus dintr-un elevator cu cupe, cu alimentator elicoidal, şi o bandă transportoare. Acţionarea este de tip Diesel-electrică

Încărcătorul cu lopată-freză-sferică (fig. 12.1.18j) are ca organ de lucru un cap sferic cu fălci, situat la un rotor de oţel şi o bandă transportoare. Sistemul de transmisii este mecano-hidraulic iar acţionarea Diesel — electrică.

Descărcătorul de ciment cu melc (fig. 12.1.18 l) are ca organ de lucru un alimentator melc şi o bandă cu raclete. Sistemul transmisiilor este mecanic, iar acţionarea, electrică.

Caracteristicile tehnice ale maşinilor de încărcat şi descărcat, se dau în tabele.

Problemele de calcul, pe categorii de maşini, sînt următoarele:

La încărcătoare cu o cupă acţionate mecanic, determinarea puterii necesare pentru acţionarea cupei N, se face cu relaţia

$$N = N_1 + N_2 = 0{,}75 \cdot \frac{M \cdot n}{716{,}2 \cdot \eta} + \frac{A_s \cdot V_\gamma}{75 \cdot t \cdot \eta} \qquad [CP] \qquad (12.1.35)$$

unde: N_1 este puterea necesară ridicării metarialului; N_2 — puterea necesară apucării lui; M —momentul de rotaţie la arborele troliului; n — turaţia tamburului troliului; η — randamentul mecanismului de ridicare (η=0,6—0,85); A_s—rezistenţa specifică la apucarea materialului: V—volumul real al materialului din cupă; γ — greutatea volumetrică; t—timpul necesar pentru încărcarea cupei. La încărcătoarele acţionate hidraulic, avem

$$N = \frac{Q \cdot p \cdot \gamma}{450 \cdot \eta_p} \qquad [CP] \qquad (12.1.36)$$

unde: Q este debitul de ulei; p — presiunea de lucru; γ — greutatea specifică a uleiului; η_p — randamentul total al pompei.

La încărcătoare cu mai multe cupe, mai este necesar calculul forţelor rezistente principale care se opun funcţionării echipamentului de lucru, astfel că puterea necesară acţionării se calculează cu relaţia

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = \frac{R \cdot V}{75} + \frac{P \cdot \gamma \cdot H}{270} + \frac{A_s \cdot P \cdot \gamma}{270} + N_4 \qquad (12.1.37)$$

unde: N_1 este puterea necesară învingerii rezistenţelor din lanţ şi articulaţiile lui; N_2-puterea necesară pentru ridicarea materialului; N_3 — puterea necesară pentru scarificarea materialului; N_4 — puterea necesară antrenării melcului; R — rezistenţa totală, v—viteza lanţului elevatorului; P — productivitatea încărcătorului; H — înălţimea de ridicare a materialului.

Puterea necesară pentru deplasarea încărcătorului se stabileşte ca la maşinile pe roţi sau şenile.

Productivitatea maşinilor de încărcat şi descărcat, se dă în tabela 12.1.6.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.6.

Productivitatea mașinilor de încărcat și descărcat

Denumirea mașinii	Productivitatea			Valorile coeficienților
	Unit. măs.	Cantit. realiz.	Formula de calcul*	
Încărcatoare cu o cupă	tf/h	50...150		teren afînat: $K_u = 0{,}55$ pietriș 40 mm: $K_u = 0{,}4$ pietriș 50 mm: $K_u = 0{,}5$ nisip umed: $K_u = 0{,}45$
Încărcătoare cu echipament universal.	tf/h	30...120		—
Încărcătoare cu mai multe cupe de tip elevator	m³/h	50...120 excepțional 360		pietriș de rîu: $K_u = 0{,}9$ pietriș 60 mm: $K_u = 0{,}75$ nisip: $K_u = 0{,}9$
Încărcătoare cu mai multe cupe de tip scarificator	m³/h	50...120		10°: $K_i = 0{,}85$ 10° 25°: $K_i = 0{,}65$
Încărcătoare cu mai multe cupe cu rotor	m³/h	60...280		ciment: $K_u = 0{,}75$ pietriș: $K_u = 0{,}7$ pietriș umed: $K_u = 0{,}6$ pietriș mare: $K_u = 0{,}5$
Încărcătoare cu lopată, freză, sferică	m³/h	50...100		
Descărcătoare de agregate	tf/h	200...300		—

* Fără influența utilizării în timp.

Simboli utilizați

q = capacitatea geometrică a cupei, în m³
γ = greutatea volumetrică în vrac, în tf/m³;
K_u = coeficientul de umplere al cupei;
t_c = durata unui ciclu, în s;
t_1 = timpul de umplere a cupei (10 ... 15 s);
t_2 = timpul de ridicare a cupei în poziția de transport (8 ... 10 s);
t_3 = este timpul necesar pentru deplasare la locul de descărcare (pentru viteza II mers înapoi, la o cursă de 10 m: 12 ... 15 s);
t_4 = timpul de basculare sau rotire a cupei (5 ... 10 s);
t_5 = timpul necesar pentru revenirea la locul de încărcare și coborîre a cupei (12...15s);
t_6 = timpul necesar pentru efectuarea comenzilor (10...15s);
Q = greutatea bucății, în tf;
v = viteza cupelor, în m/s;
a = distanța între două cupe, în m;
q_0 = capacitatea unei cupe, în l;
c_0 = cantitatea de material deplasat de o cupă tăietoare sau scarificatoare, în l;
K_i = coeficientul influenței unghiului (φ) de înclinare al transportorului;
D = diametrul mediu al frezei sau rotorului, în m;
n = turația frezei sau rotorului, în rot/min;
n_c = numărul de cupe sau fălci ale organului de lucru.

Scanned with OKEN Scanner

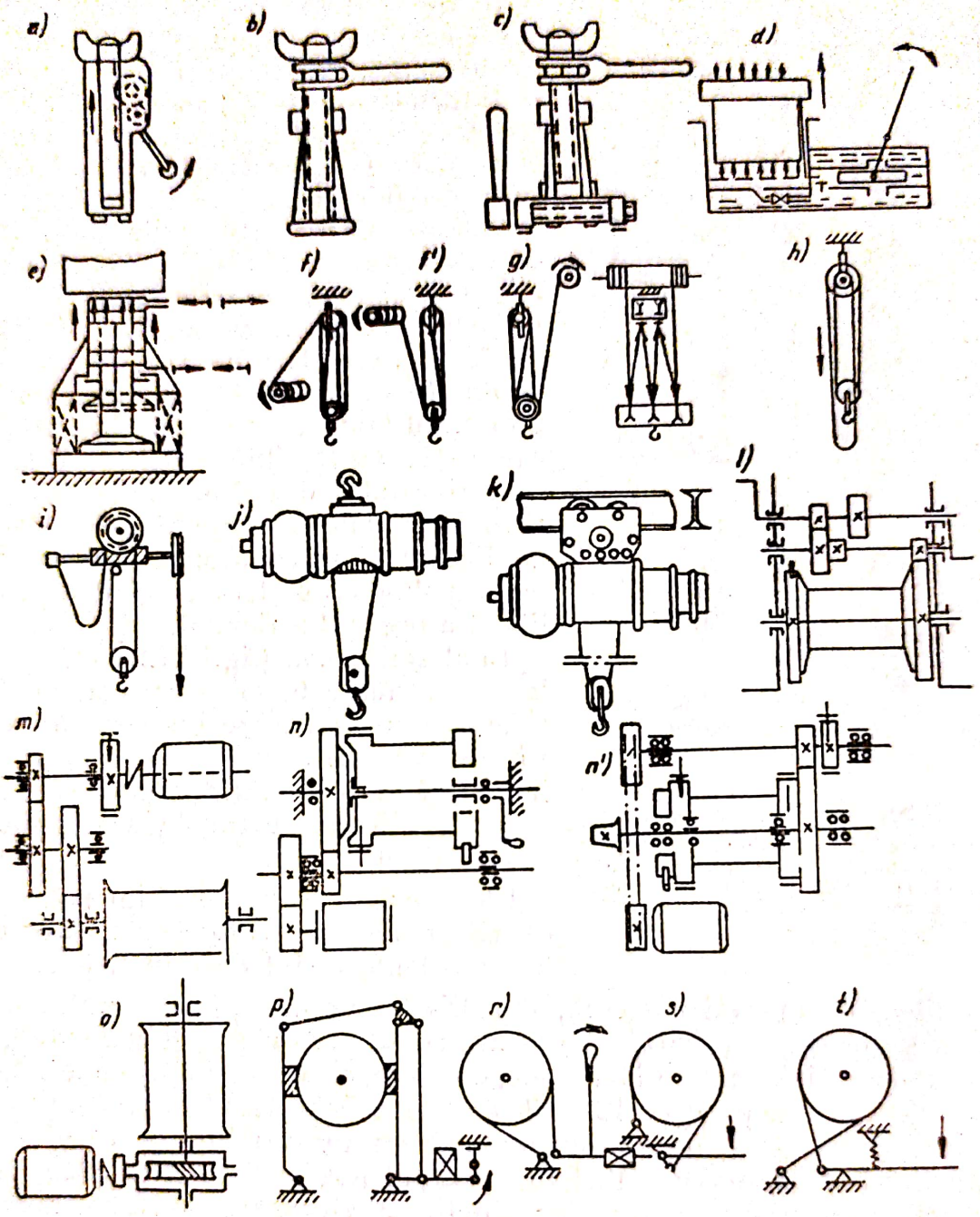


Fig. 12.1.19. Mecanisme de ridicat (vezi şi tabela 12.1.12).

12.1.4. **Maşini şi mecanisme de ridicat.** Maşinile şi mecanismele de ridicat în construcţii, se pot clasifica după cum urmează:

a) Maşini simple: vinciuri, trolii, palane, ascensoare; *b)* Macarale: rotitoare, funicular, cu platformă rulantă.

c) Maşini simple. — Vinciurile sînt mecanisme de ridicat ce se utilizează la ridicarea sarcinilor grele pe distanţe reduse (tabela 12.1.72 şi fig. 12.1.39, a-e).

Scanned with OKEN Scanner

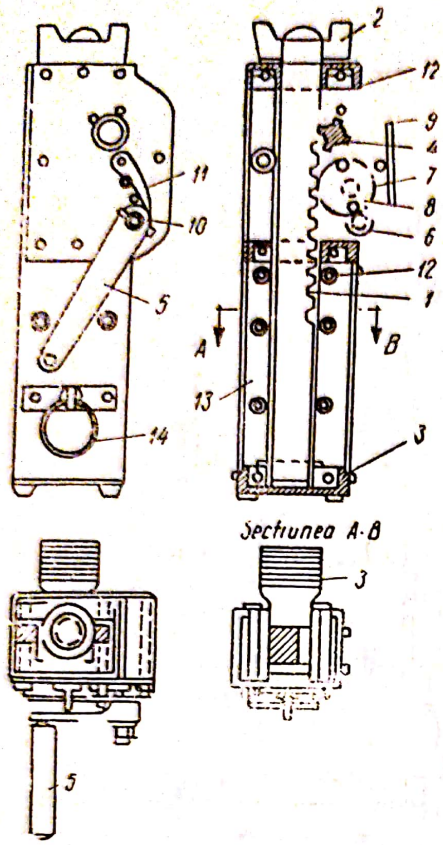


Fig. 12.1.20. Vinci cu cremalieră: *1* — cremalieră; *2* — cep rotitor; *3* — talpă; *4* — pinion de atac; *5* — manivelă; *6, 7, 8, 9* — angrenaj; *10, 11* — roată cu clichet şi clichet; *12* — ghidaje; *13* — carcasă; *14* — inel.

În fig. 12.1.20 este dată construcţia unui vinci cu cremalieră cu cap rotitor şi talpă, avînd acţionarea manuală (cu manivela 5) şi transmisia prin angrenajul cilindric cu trei trepte 6, 7, 8, 9 şi pinionul de atac *4* la cremaliera 1. Clichetul 11 împiedică coborîrea sarcinii de la sine.

Palanele sînt alcătuite din două grupări de scripeţi şi un organ flexibil, fiind utilizate la ridicarea sarcinilor grele la înălţimi mari (tabela 12.1.7 şi fig. 12.1.19, f-k). În fig. 12.1.21 este dată construcţia unor palane factoriale simple (a-d) şi a unui palan diferenţial cu lanţ cu zale ovale (*R*). În primul caz, ca organ flexibil se utilizează de obicei cablurile duble din sîrme mate de oţel carbon, iar numărul scripeţilor independenţi pe fiecare ax poate ajunge la cinci. Acţionarea palanului se face trăgînd de ramura liberă a organului flexibil.

În al doilea caz (fig.12.1.21 e), roţile de lanţ superioare 6, fac corp comun, lanţul înfăşurîndu-se consecutiv, conform numerotării, pe roata mare superioară, roata inferioară şi roata mică superioară, ca urmare a acţionării manuale a ramurei 1 în sensul săgeţii.

Electropalanele mobile, sînt palane acţionate de motoare electrice, a căror caracteristici tehnice sînt date în tabele.

Troliile sînt mecanisme complexe fiind compuse, în general, dintr-un tambur şi un organ flexibil; ele se utilizează la ridicarea şi manevrarea sarcinilor grele, atît ca mecanisme independente, cît şi în componenţa celorlalte maşini de construcţii (fig. 12.1.19, *l—o* şi tabela 12.1.7). În fig. 12.1.22 este dată construcţia unui troliu manual cu un tambur, a cărui schemă cinematică rezultă din fig. 12.1.19.*l*. Cablul (organ flexibil de tracţiune) se înfăşoară pe tamburul acţionat manual, cu ajutorul manivelei, avînd celălalt capăt fixat la sarcină, a cărei scăpare accidentală este evitată utilizînd un clichet.

Determinarea caracteristicelor tehnice ale vinciurilor, palanelor şi troliilor se fac cu ajutorul tabelelor de calcul, a căror prezentare depăşeşte cadrul cursului.

Ascensoarele de construcţii (fig. 12.1.23 şi tab. 12.1.8) se utilizează la ridicarea materialelor la înălţime, deplasarea organului mobil (platformă, cupă) realizîndu-se cu trolii electroreversibile sau cu fricţiune.

Scanned with OKEN Scanner

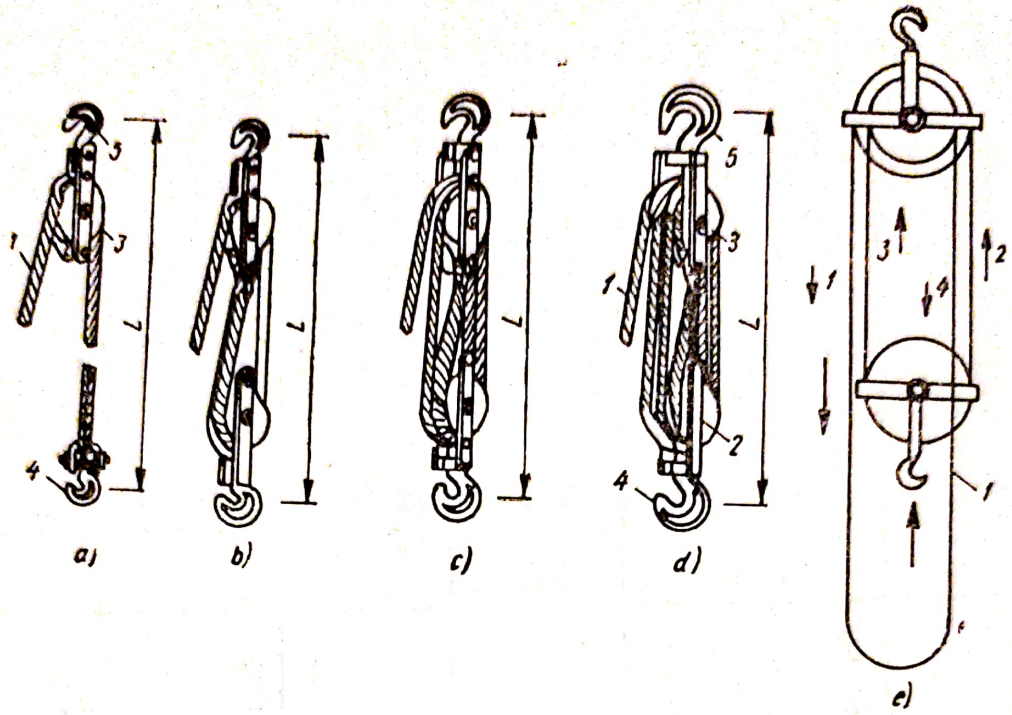


Fig. 12.1.21. Palane:
a, b, c, d — palane factoriale simple; *e* — palan diferențial cu lanț; *1* — organ flexibil de tracțiune; *2* — armătura inferioară (mobilă); *3* — armătura superioară (fixă); *4* — cîrlig pentru sarcină; *5* — cîrlig de fixare.

Puterea necesară pentru acționare se determină cu relația

$$N = \frac{F \cdot v}{75 \cdot \eta} \quad [CP]; \qquad N = \frac{F \cdot v}{102 \cdot \eta} \quad [kW] \qquad (12.1.38)$$

unde: F este forța totală în cablurile din ramura de ridicare a platformei; v — viteza de ridicare (0,4 — 4 m/s); η — randamentul total al instalației ($\eta \cong 0{,}5$).

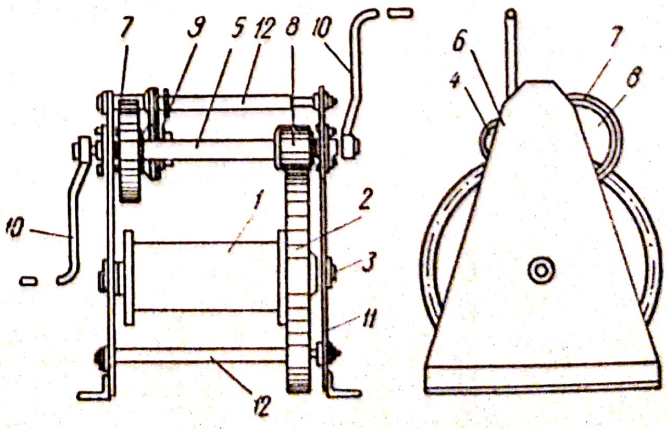


Fig. 12.1.22. Troliu normal cu un tambur:
1 — tambur cu roată dințată; *2, 3* — axa tamburului; *4* — arbore pentru acționarea manuală; *5* — arbore intermediar; *6, 7, 8* — roți dințate; *9* — frînă (clichet); *10* — manivelă; *11* — batiu; *12* — bare de legătură.

Clasificarea şi domeniul de utilizare al mecanismelor de ridicat *Tabela 12.1.7.*

Criterul de clasificare	Denumirea grupei	Criteriul subclasificării			Denumirea maşinii	Schema	Domeniul de utilizite
1	2	3			4	5	6
După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Vinciuri (cricuri)	După sistemul constructiv şi capacitatea de încărcare	Vinciuri cu cremalieră	După modul de ridicare a sarcinii	Vinciuri simple cu cremalieră (cu cap rotitor)	—	Ridicarea sarcinilor cuprinse între 0,5...20 tf, pe verticală, la înălţimea de 300 ... 400 mm, în timpul operaţiilor de montaj şi reparaţii
					Vinciuri cu cremalieră cu talpă	Fig. 12.1.19. a	Idem, pentru sarcini cuprinse între 1...30 tf; pot ridica direct de la suprafaţa solului
			Vinciuri cu şurub	După construcţia tălpii	Vinciuri cu şurub cu talpă fixă	Fig. 12.1.19. b	Ridicarea sarcinilor cuprinse între 1...50 tf (obişnuit pînă la 20 tf) la înălţimea de 300...40 mm, în timpul operaţiilor de montare-demontare, reparaţii, etc.
					Vinciuri cu şurub cu glisieră	Fig. 12.1.19 c	Idem, în cazul sarcinilor de 5...40 tf, cînd este necesară şi translaţia sarcinii pe orizontală, pe o distanţă sub 300 mm (vagoane, locomotive, etc.)
			Vinciuri hidraulice	După înălţimea de ridicare	Vinciuri hidraulice cu acţiune simplă	Fig. 12.1.19. d	Ridicarea pe verticală a sarcinilor între 3...30 tf, la înălţimea de 150...200 mm, în timpul operaţiilor de montare şi manipulare a maşinilor mari şi a elementelor de construcţii grele
					Vinciuri hidraulice cu acţiune dublă	Fig. 12.1.19. e	Ridicarea pe verticală a sarcinilor de 50...750 tf, la înălţimi mai mari
		După sistemul cons. şi capacit. de ridic.	Vinciuri hidraulice	După cons. corpului.	Vinciuri hidraulice cu corp unic	Fig. 12.1.19. d	Ridicarea sarcinilor cuprinse între 3...30 tf, la 150...200 mm înălţime
					Vinciuri hidraulice cu cameră de pompare separată	—	Idem, pentru sarcini cuprinse între 50...300 tf.

Scanned with OKEN Scanner

După particularitățile procesului tehnologic îndeplinit	Palane	După modul de acționare	Palane cu organ flexibil de ridic	După sistemul constructiv	Palane factoriale simple	Fig. 12.1.19 f, f'	Ridicarea sarcinilor cuprinse între 0,1 ...100 tf, la înălțimi mari (cca 20 m), în cadrul lucrărilor de construcții montaj, precum și ca elemente componente ale mașinilor de construcții (excavatoare, macarale, etc.), în cazul cînd ramura care se înfășoară pe troliu se mai abate peste una sau mai multe role suplimentare
					Palane factoriale gemene	Fig. 12.1.19 g	Idem, în cazul cînd ramurile care se înfășoară pe troliu nu se mai abat pe role suplimentare (cărucioare de macara etc.)
					Palane diferențiale	Fig. 12.1.19 h	Ridicarea și coborîrea sarcinilor cuprinse între 0,25...10 tf, manual, cu posibilitate de autofrînare sub sarcină, la montarea podurilor și construcțiilor metalice, manevrarea sarcinilor, lucrări edilitare etc.
			Pal. cu transm. roți dințate.	După constr. angrenajului	Palane cu angrenaj cu șurub — melc și roată melcată	Fig. 12.1.19 i	Idem, pentru sarcini cuprinse între 0,5...10 tf
					Palane cu angrenaje cu roți dințate cilindrice	—	Ridicarea sarcinilor cuprinse între 0,25...10 tf
			Electropalane	După modul de mobilitate	Electropalane fixe (suspendate)	Fig. 12.1.19 j	Ca aparate de ridicat independente, suspendate de un punct fix (capre speciale, grinzi de acoperiș etc.), pentru capacități de ridicare 0,125..5 tf și înălțimi de ridicare 6...30 m
					Telefere electropalane (mobile)	Fig. 12.1.19	Ca aparate de ridicat independente, mobile pe căi suspendate, pentru capacități de ridicare 0,125...15 tf, în depozite, ateliere, la lucrări de transbordare în porturi și stații c.f.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.7. (continuare)

	2	3	4			5	6
După particularităţile procesului tehnolog îndeplinit	Trolii	După modul de acţionare	Trolii manuale	După numărul de tambure	Trolii manuale cu un tambur	Fig. 12.1.19 1	Ridicarea şi manevrarea manuală a sarcinilor cuprinse între 0,25 şi 10 tf pe şantierele de construcţii (cu viteze reduse) întinderea armăturilor etc.
					Trolii manuale cu două tambure	Fig. 12.1.19	Ridicarea şi manevrarea simultană a două categorii de sarcini (lucrări de montaj). Capacitatea de ridicare 0,5...5 tf
			Trolii mecanice	După modul de funcţionare	Trolii reversibile (cu legătură rigidă permanentă)	Fig. 12.1.19 *m*	Ridicarea sarcinilor cuprinse între 0,25 şi 15 tf, atît ca mecanisme independente (acţionarea boburilor, macaralelor-triunghi), cît şi ca părţi componente ale maşinilor (elevatoare pe catarg etc.)
					Trolii cu fricţiune (ireversibile)	Fig. 12.1.19 *u n*	Ridicarea sarcinilor (0,25...15 tf), acţionarea boburilor, elevatoarelor, macaralelor-triunghi, macaralelor-catarg, manevrarea prin cablu a echipamentelor de screper, buldozer-macara etc. Ridicarea sarcinii se face cu ajutorul motorului, iar coborîrea prin greutatea sarcinii şi frînare
				După numărul de tambure	Trolii mecanice cu un singur tambur	Fig. 12.1.19 *m,n,n,o*	Ca unităţi individuale la lucrările de montaj, pentru ridicarea sarcinilor grele, precum şi la acţionarea mecanismului de ridicare la unele maşini de construcţii
					Trolii mecanice cu mai multe tambure	—	Acţionarea maşinilor cu braţe cu poziţie variabilă (macarale, excavatoare etc.), la care fiecare tambur deserveşte un alt mecanism (ridic. sarcin. modific. înclin. braţ, rotirea maşinii

Scanned with OKEN Scanner

După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Troliii	După modul de acţionare	Troliii mecanice	După construcţia angrenajului	Troliii mecanice cu angrenaje cu roţi dinţate	Fig. 12.1.19 m, n, n	Vezi troliii reversibile, respectiv cu fricţiune
					Troliii mecanice cu angrenaj cu şurub-melc şi roată melcată	Fig. 12.1.19 o	Vezi troliii raversibile. Se utilizează mai rar. Prezintă autofrînare, au randament mic şi uzură intensă
				După modul de acţionare	Troliii mecanice electrice	—	Ridicarea sarcinilor pe şantierele de construcţii şi în construcţia macaralelor etc., cînd este asigurată energia electrică necesară
					Troliii mecanice cu motoare cu ardere internă	—	Ridicarea sarcinilor pe şantierele unde nu este asigurată energia electrică necesară. În construcţia maşinilor de construcţii (de obicei, troliii ireversibile)
				După construcţia frînelor	Troliii mecanice cu frîne electromagnetice cu saboţi	Fig. 12.1.19 p	Vezi troliii reversibile
					Troliii mecanice cu frînă cu bandă închisă	Fig. 12.1.19 r	Vezi troliii ireversibile
					Troliii mecanice cu frînă cu bandă deschisă	Fig. 12.1.19 s	Idem
					Troliii mecanice cu frînă cu bandă încrucişată	Fig. 12.1.19 t	Idem

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.8

Casificarea şi domeniul de utilizare al ascensoarelor de construcţii

Criteriul	Grupa	Criteriul de subclasificare	Denumirea maşinii			Schema	Domeniul de utilizare
1	2	3	4			5	6
După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Ascensoare de şantier	După sistemul constructiv şi înălţimea de ridicare	Ascensoare cu catarg	După construcţia catargului	Ascensoare cu un singur pilon şi platformă turnantă	Fig. 12.1.23 *a*	Ridicarea materialelor pentru construcţii sau repararea clădirilor. Descărcarea materialelor se face prin rotirea platformei şi sprijinirea ei pe marginea golului din zidărie. Capacitatea de ridicare: 0,5—1 tf. Înălţimea de ridicare: 20—50 m.
					Ascensoare cu catarg cu doi piloni	Fig. 12.1.23 *b*	Ridicarea materialelor la construcţia clădirilor cu o înălţime de pînă la 5 etaje (ridicarea cărămizilor, materialelor friabile, a varului, etc.). Capacitatea de ridicare: 0,25—0,5 tf; înălţimea de ridicare sub 20 m.
			Ascensoare cu turn (cu boburi)	După numărul turnurilor	Ascensoare cu platformă şi un turn	Fig. 12.1.23 *c*	Ridicarea materialelor de construcţii, capacitatea de ridicare: 0,5—1,5 tf, iar înălţimea de ridicare 45 m în cazul boburilor de lemn şi 80 m în cazul celor metalice. Viteza de ridicare pînă la 1,5m/s, respectiv 3m/s
			Ascensoare cu turn	După construcţia platformei	Ascensoare cu două platforme şi două turnuri	Fig. 12.1.23 *d*	Idem. Au o productivitate dublă.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.8 (continuare)

1	2	3	4	5	6
După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Ascensoare de şantier	După sistemul constructiv şi înălţimea de ridicare	Ascensoare cu turn — După construcţia platformei — Ascensoare cu platformă cu încărcare şi descărcare mecanizată	Fig. 12.1.23 *e*	Idem. Încărcarea şi descărcarea se face mecanizat
			Ascensoare cu platformă basculantă	Fig. 12.1.23 *f*	Idem
			Ascensoare cu platformă nebasculantă	Fig. 12.1.23 *c, d*	Acelaşi domeniu de utilizare ca boburile cu o platformă şi un turn
			Ascensoare cu cablu	Fig. 12.1.23 *g*	Ridicarea sarcinilor de 0,25—0,5 tf la 15—40 m înălţime fără schelet rigid de susţinere
	Ascensoare cu schip	După direcţia de ridicare	Schipuri cu ridicare verticală	Fig. 12.1.23 *h*	Ridicarea şi golirea automată a materialelor friabile
			Schipuri cu ridicare pe un plan înclinat	Fig. 12.1.23 *i*	Ridicarea şi golirea automată a pământului din gropi, la instalaţiile industriale, la construcţii hidrotehnice, deserviri metalurgice. Capacitatea cupei: 0,5—5 mc, viteza 25—60 m/min

Scanned with OKEN Scanner

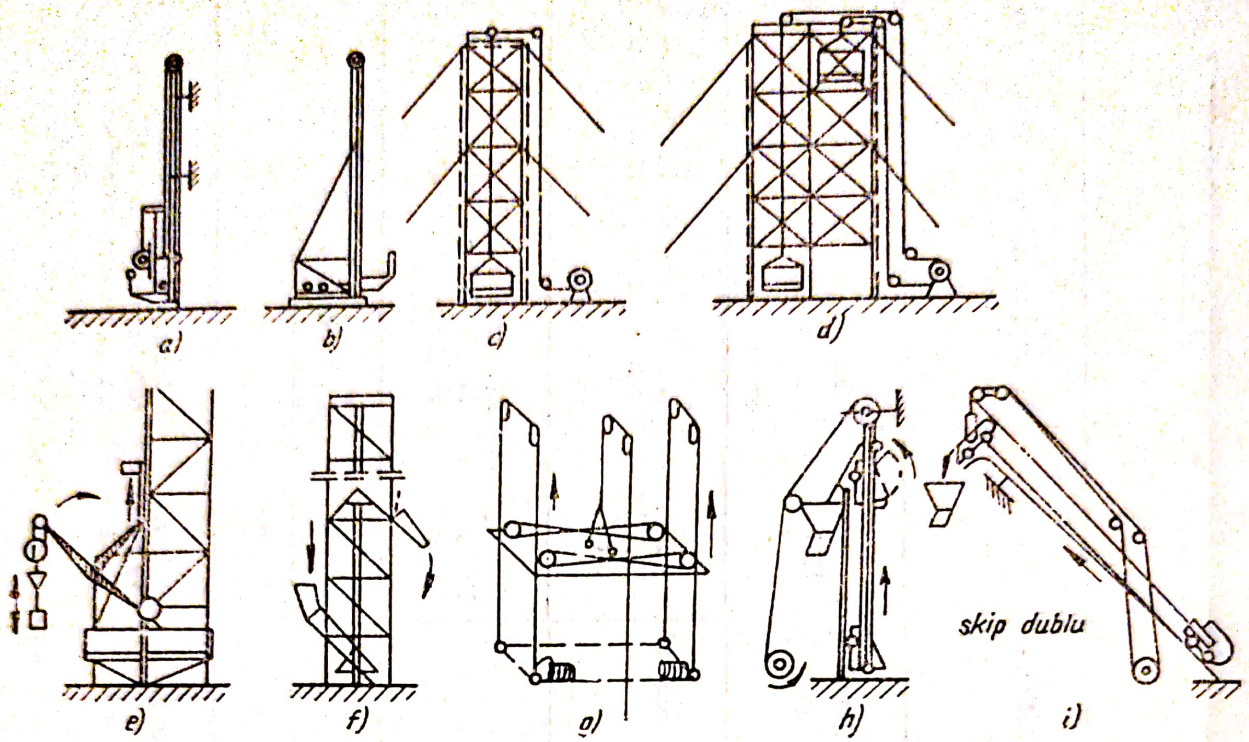


Fig. 12.1.23. Ascensoare (vezi și tabela 12.1.16).

Productivitatea ascensoarelor se determină cu relația

$$P_{expl} = \frac{3600}{t_c} \cdot Q \cdot K_u \cdot K_t \qquad (12.1.39)$$

unde: Q este încărcarea utilă nominală a ascensorului; t_c — durata unui ciclu; $K_u \cong 0{,}5$ și $K_t \cong 0{,}8 - 0{,}95$, sînt coeficienți de utilizare (a capacității ascensorului și în timp).

Avantajele utilizării ascensoarelor sînt: montaj ușor, viteze de ridicare mari, simplitate constructivă și preț de cost redus.

B. Macaralele sînt utilaje de ridicat staționare sau mobile, cu acțiune intermitentă, care pot deplasa sarcini atît pe verticală cît și pe orizontală.

Clasificarea și domeniile de utilizare ale macaralelor sînt date în tabelele 12.1.9 și 12.1.10 iar schemele acestora în figurile 12.1.24—12.1.30.

Macaralele rotitoare cele mai răspîndite pe șantierele de construcții, sînt alcătuite, din punct de vedere cinematic, din patru mecanisme principale: mecanismul de ridicare a sarcinii, mecanismul de rotire a sarcinii, mecanismul de variație a razei de acțiune a macaralei și mecanismul de deplasare. Funcționarea acestor mecanisme rezultă din figuri, urmărind sensurile mișcărilor pieselor, notate cu săgeți. Amplasarea mecanismelor trebuie să nu stînjenească desfășurarea procesului tehnologic. Ca organe pentru suspendarea sarcinii, se folosesc de obicei cîrlige, electromagneți, graifere, etc.

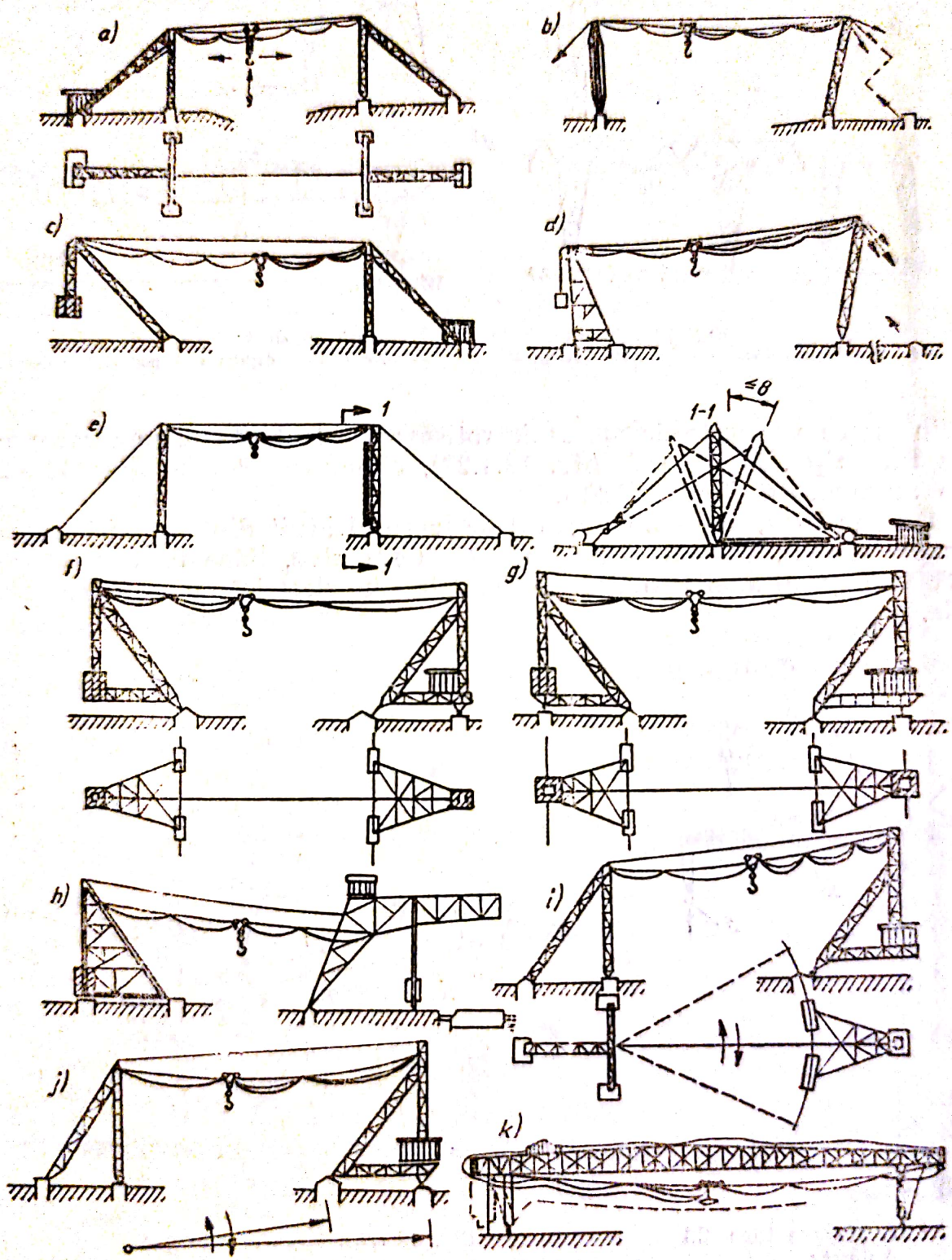


Fig. 12.1.25. Macarale funicular (vezi şi tabela 12.1. 18).

Scanned with OKEN Scanner

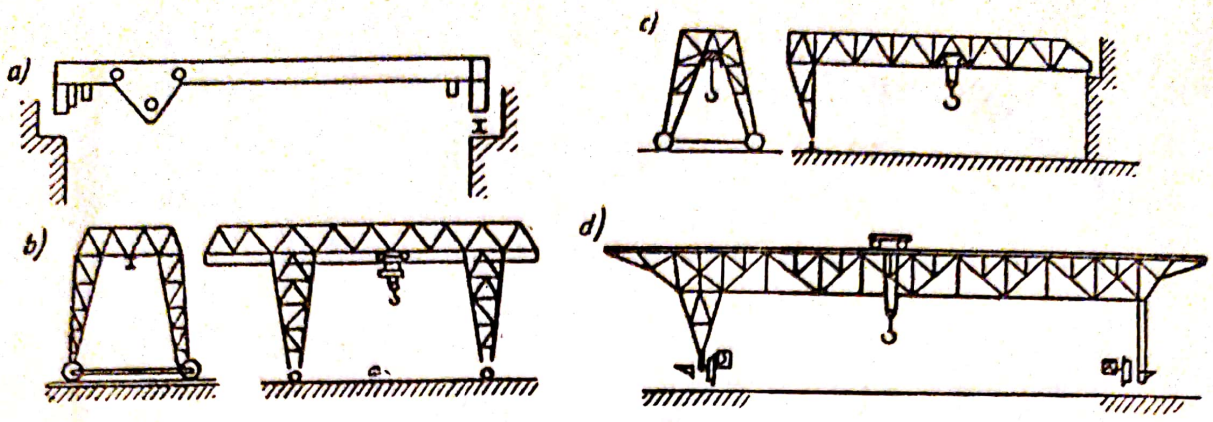


Fig. 12.1.26. Macarale cu platformă rulantă:
a — pod rulant monogrindă; *b* — macarale cu telefer; *c* — macarale semi — capră; *d* — poduri transbordoare.

Din marea varietate de macarale rotitoare se tratează rezumativ, o macara turn tip „23 august" (fig. 12.1.27), o macara Pionier (fig. 12.1.28) şi o automacara (fig. 12.1.29).

Macaraua turn, are echipamentul de lucru alcătuit dintr-un cîrlig aşezat în capul săgeţii, săgeata şi mecanismele respective. Săgeata se poate roti cu 360° în jurul axei turnului. Acţionarea este electrică cu motoare individuale.

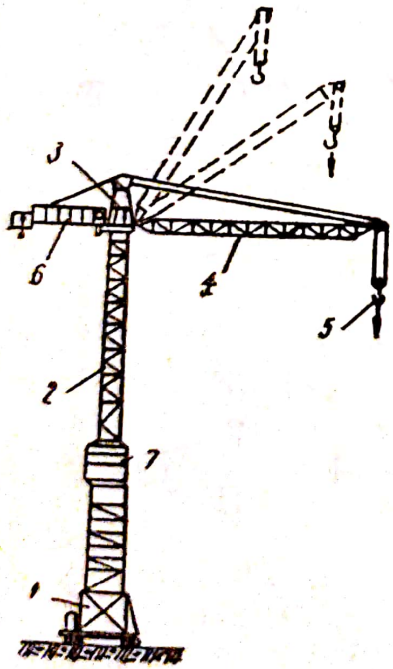


Fig. 12.1.27. Macara turn 23 August:
1 — portal cu cărucior de deplasare; *2* — turnul; *3* — cap rotitor; *4* — săgeata oscilantă; *5* — cîrlig; *6* — platforma mecanismelor; *7* — cabina de comandă.

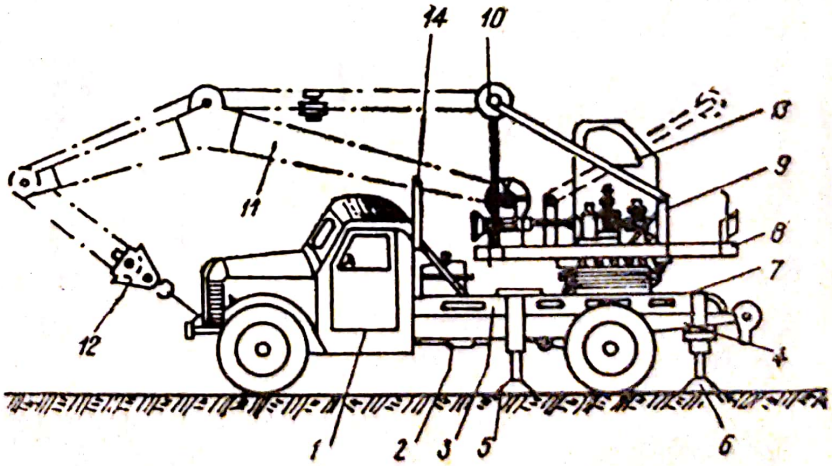


Fig. 12.1.28. Macara Pionier:
1 — cărucior de susţinere; *2* — platformă rotitoare; *3* — săgeată; *4* — reductor; *5* — motor; *6* — contragreutate; *7* — troliu; *8* — tablou de comandă; *9* — manivelă; *10* — cabluri pentru ancorarea săgeţii; *11* — limitator de cursă.

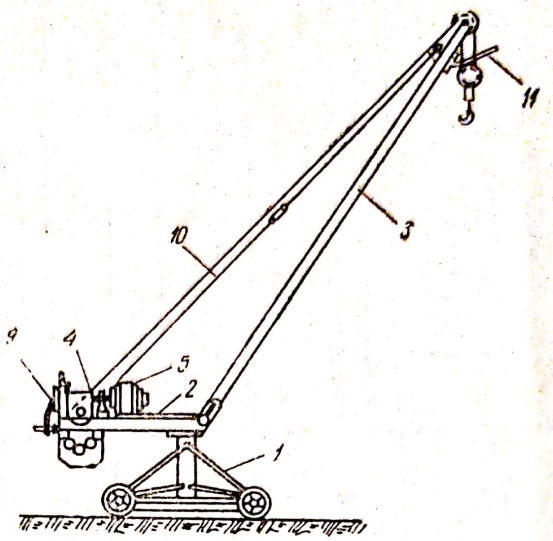


Fig. 12.1.29. Automacara:
1 — autocamion; *2* — priza de putere; *3* — şasiu; *4* — dispozitiv de blocare a arcurilor; *5, 6* — tălpi de sprijin; *7* — cerc de rulare; *8* — platformă rotitoare; *9* — mecanismele macaralei; *10* — schelet metalic; *11* — săgeata; *12* — cîrlig; *13* — cabina de comandă; *14* — suport braţ pe timpul transportului.

Macaraua *Pionier* este acţionată electric, mecanismul de rotire a sarcinia este manual, iar raza de acţiune este constantă. Macaraua poate înaint, odată cu construcţia, de la planşeu, şi se poate coborî în stare demontată

Automacaraua *SR* este acţionată de la priza de putere a autocamionului transmisiile şi sistemul de comandă fiind mecanice.

Caracteristicile tehnice ale macaralelor utilizate pe şantierele noastre, sînt date în tabele.

Problemele principale de calcul, se referă la precizarea sarcinilor, determinarea forţelor rezistente, stabilirea puterii motoarelor şi asigurarea stabilităţii macaralelor. Cunoaşterea detailată a sarcinilor permite o exploatare raţională a macaralelor.

În cele ce urmează ne rezumăm la calculul puterilor necesare pentru acţionarea mecanismelor.

— mecanismul de ridicare a sarcinii

$$N = \frac{Q \cdot v_1}{75 \cdot \eta_1} \quad [\text{CP}]; \qquad N = \frac{Q \cdot v_1}{102 \cdot \eta_1} \quad [\text{kW}] \qquad (12.1.40)$$

unde: Q este sarcina de ridicat; v_1 — viteza de ridicare; η_1 — randamentul mecanismului de ridicat ($\eta_1 \cong 0{,}8$).

- mecanismul de rotire

$$N = K_r \cdot \frac{M_r \cdot v_2}{75 \cdot r_s \cdot \eta_2} \quad [\text{CP}]; \qquad N = K_r \frac{M_r \cdot v_2}{102 \cdot r_s \cdot \eta_2} \quad [\text{kW}] \qquad (12.1.41)$$

unde: M_r este momentul rezistent în raport cu axa de rotaţie a macaralei; v_2 — viteza extremităţii săgeţii; r_s — raza de rotaţie a extremităţii săgeţii; η_2 — randamentul; $K_r \cong 1{,}5—2$, este un coeficient de corecţie.

— mecanismul de deplasare

$$N = K_d \cdot \frac{R_d \cdot v_3}{75 \cdot \eta_3} \quad [\text{CP}]; \qquad N = K_d \cdot \frac{R_d \cdot v_3}{102 \cdot \eta_3} \quad [\text{kW}] \qquad (12.1.42)$$

unde: R_d este rezistenţa totală de deplasare; v_3 — viteza de deplasare; η_3 — randamentul (0,7—0,9); $K_d \cong 1—2$, este un coeficient de corecţie.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.9

Macarale rotitoare. Clasificarea și domeniul de utilizare

Criteriul clasificării	Denumirea grupei	Criteriul subclasificării	Denumirea mașinii			Schema	Domeniul de utilizare
1	2	3	4			5	6
După posibilitățile de deservire a locului de muncă	Macarale rotitoare staționare	După sistemul constructiv și particularitățile procesului tehnologic îndeplinit	Macarale de perete	După raza de acțiune	Macarale de perete cu braț constant	Fig. 12.1.24 *a*	Ridicarea sarcinilor curente în construcții, cuprinse între 0,25 și 3 tf, la rază de acțiune constantă, de obicei la construcții de clădiri
					Macarale de perete cu braț variabil (cu cărucior)	Fig. 12.1.24 *a'*	Idem, precum și la fabrici și ateliere, pentru sarcini între 0,25 și 10 tf (acționare manuală) la rază de acțiune variabilă.
			Macarale cu catarg	După raza de acțiune	Macarale cu catarg cu braț constant	Fig. 12.1.24 *b*	Ridicarea sarcinilor pe șantierele mici, la 8—10 m. înălțime, pe o rază de acțiune de 1,5—2,5 m. și un unghi de rotire de pînă la 270°
					Macarale cu catarg cu braț variabil (cu palane)	Fig. 12.1.24 *b'*	Idem la rază de acțiune variabilă, pentru sarcini de 0,5—3 tf și un unghi de rotire al brațului de pînă la 270°. Uzual raza de acțiune nu depășește 3—5 m
			Macarale cu coloană rotitoare și săgeată oscilantă (Derick)	După modul de ancorare al coloanei	Macarale Derrick cu tiranți rigizi, cu rotație incompletă	Fig. 12.1.24 *c*	Montarea construcțiilor industriale de înălțime relativ mică și a construcțiilor hidrotehnice, lucrări în depozite, porturi, etc.; în cadrul unui unghi de rotație orizontal de 240—270°, pentru sarcini uzuale de 1—30tf și raze de acțiune sub 40—50 m
					Macarale Derrick cu tiranți flexibili (cabluri) cu rotație completă	Fig. 12.1.24 *c'* și *c''*	Montarea construcțiilor industriale înalte și a celor metalice speciale (cowpere, furnale). Sarcini între 1,5—300tf, pentru înălțimi de ridicare foarte mari (50 m) și raze de acțiune mari, de 40—50 m.

Scanned with OKEN Scanner

După posibilitățile de deservire a locului de muncă	Macarale rotitoare deplasabile pe șine de ghidare. Macarale rotitoare staționare	După sistemul constructiv și particularitățile procesului tehnologic îndeplinit					
			Macarale ciocan			Fig. 12.1.24 *d*	Ridicarea sarcinilor foarte mari la înălțime relativ mică. Capacitatea de ridicare variază între 20 și 200 tf.
			Macarale cu platformă turnantă			Fig. 12.1.24 *e*	Lucrări de încărcare-descărcare (cu cîrlig sau graifăr), pentru deschideri și înălțimi de ridicare mari. Capacitatea de ridicare variază între 5 și 180 tf.
			Macarale-catarg	După sistemul de acționare, al mecanismului de ridicare	Macarale — catarg cu rotire manuală	Fig. 12.1.24 *f*	Ridicarea materialelor de construcții pentru executarea clădirilor cu cel mult două etaje și montarea prefabricatelor pe fronturi largi și puțin adînci. Capacitatea de ridicare este sub 2 tf, iar raza de acțiune pînă la 5 m.
					Macarale — catarg cu rotire mecanică	Fig. 12.1.24 *f'*	Ridicarea materialelor de construcții și montarea prefabricatelor. Înălțimea de ridicare este sub 20 m, raza de acțiune sub 10 m, sarcina de ridicare pînă la 8 tf.
			Macarale-turn	După tipul coloanei	Macarale turn cu coloană fixă și cap rotitor, cu săgeată orizontală sau oscilantă	Fig. 12.1.24 *g, g'*.	Transportul și ridicarea materialelor de construcții și a elementelor prefabricate pe o rază de acțiune mare și înălțimi mari (pînă la 12 etaje) pentru sarcini de pînă la 5 tf.
					Macarale turn cu coloană rotitoare și săgeată orizontală sau oscilantă	Fig. 12.1.24 *h, i, j*	Transportul și ridicarea materialelor de construcții și a elementelor prefabricate la înălțime foarte mare și rază de acțiune mare, în cazul sarcinilor între 3 și 40 tf, pentru lucrări de construcții civile, industriale, hidrotehnice și construcții metalice speciale

Tabela 12.1.9 (continuare)

1	2	3	4			5	6
După posibilitățile de deservire a locului de muncă	Macarale rotitoare deplasabile pe șine de ghidare	După sistemul și particularitățile procesului tehnologic	Macarale turn	După posibilitatea de variație a înălțimii	Macarale turn cu înălțime constantă	Fig. 12.1.24 *g, g'*	Transportul și ridicarea materialelor și a elementelor prefabricate la înălțime și rază de acțiune mare
					Macarale turn pliante	Fig. 12.1.24 *j*	Idem. La demontare se string fără a fi demontate
					Macarale turn telescopice	Fig. 12.1.24 *j'*	Idem. Coloana este construită din două elemente telescopice care permit modificarea înălțimii de ridicare
					Macarale turn autoridicătoare	Fig. 12.1.24 *j''*	Ridicarea și transportul materialelor și prefabricatelor grele la clădirile cu multe etaje și șantiere cu front ingust de lucru.
					Macara turn nedeplasabilă sub sarcină	—	Ridicarea materialelor de construcții și transportul lor pe verticală în limitele unei suprafețe circulare
					Macara turn deplasabilă sub sarcină	—	Idem, în limitele unei suprafețe dreptunghiulare
			Macarale portal	După construcția portalului	Macarale portal cu săgeată articulată	Fig. 12.1.24 *k*	La lucrări de transbordare, montaj, încărcare descărcare
					Macarale portal cu săgeată oscilantă, trompă și tirant flexibil	Fig. 12.1.24 *k'*	La realizarea lucrărilor hidrotehnice mari la montarea podurilor metalice și din prefabricate, pentru sarcini între 3 și 50 tf.
					Macarale portal cu săgeată oscilantă articulată	Fig. 12.1.24 *k''*	Idem

Scanned with OKEN Scanner

După posibilitățile de deservire la locul de muncă	Macarale rotitoare deplasabile pe căi fără șine	După sistemul constructiv și procesul tehnologic					
			Macarale C.F.	După deplasare	Macarale velociped	Fig. 12.1.24 *m*	Deservirea atelierelor și halelor joase în care nu se pot monta poduri rulante
					Macarale pe platforme C.F.	Fig. 12.1.24 *n*	Deservirea șantierelor, depozitelor, uzinele și exploaterea căilor ferate.
					Macarale C.F. autopropulsate	Fig. 12.1.24 *n'*	La lucrări de intervenții și restabilirea avariilor, în cadrul unei capacități de ridicare de pînă la 120 tf
			Macara cărucior	Poziția de lucru	Macarale „Pionier"	Fig. 12.1.24 *o*	Ridicarea materialelor de construcții și efectuarea operațiilor de încărcare-descărcare pe sol, pe planșee sau estacade.
			Macarale auto pe pneuri	Modul de acționare	Macarale de la un singur motor	Fig. 12.1.24 *p*	Executarea lucrărilor de încărcare-descărcare a materialelor și prefabricatelor, montarea lor pe înălțimi mici, caracterizate printr-un mare grad de mobilitate.
					Macarale acționate de la mai multe motoare (Diesel electrice)	Fig. 12.1.24 *p'*	Lucrări de construcții, montaj, încărcare-descărcare, capacitatea fiind de 5—70 tf, lungimea brațului 12 m
				Mecanismul de deplasare	Macarale auto pe două osii	Fig. 12.1.24 *p*, *p'*	Lucrări de încărcare-descărcare, montaj
					Macarale auto pe trei osii	—	Idem la sarcini mai mari
			Macarale pe șenile	După poziția săgeții	Macarale pe șenile cu săgeată axială, cu cîrlig sau graifăr	Fig. 12.1.24 *r*	Montarea construcțiilor industriale și a clădirilor pînă la 4 etaje, transbordarea materialelor pe terenuri desfundate
					Macarale pe șenile cu săgeată laterală, pentru lansat conducte	Fig. 12.1.24 *s*	Lucrări laterale, pozări de elemente subterane, lansarea conductelor. Capacitatea de ridicare 10 tf, înălțimea cca 5m
			După construcția săgeții	După construcția săgeții	Macarale plutitoare cu săgeată oscilantă, trompă, și tirant flexibil	Fig. 12.1.24 *u*	Lucrări de încărcare descărcare, lucrări maritime, fluviale și portuare.
					Macarale plutitoare cu săgeată oscilantă articulată și tiranți rigizi		Capacitatea de ridicare pînă la 250 tf, iar raza de acțiune între 5 și 30 m

Scanned with OKEN Scanner

Macaralе funicular. Clasificarea şi domeniul de utilizare *Tabela 12.1.10*

Criteriul	Denumirea	Schema	Domeniul de utilizare
1	2	3	4
După suprafaţa deservită şi construcţia suporţilor	Macarale staţionare (cu suporţi cu tiranţi rigizi, flexibili sau pendulari,	Fig. 12.1.25 *a, b, c, d*	Ridicarea şi transportul sarcinilor dealungul unei linii la construcţia viaductelor, podurilor, barajelor, construcţiilor civile şi industriale, a celor hidrotehnice mari pentru sarcini mici şi deschideri sub 100m
	Macarale oscilante	Fig. 12.1.25 *e*	Idem, în cazul deservirii unei fişii dreptunghiulare mai mari decit 100 m, şi cu ridicare peste 30 m
	Macarale deplasabile paralele (cu suporţi pendulari sau rezemaţi stabil)	Fig. 12.1.25 *f, g, h*	Idem, în cazul deservirii unei suprafeţe dreptunghiulare
	Macarale deplasabile radiale (cu suporţi pendulari sau rezemaţi stabil)	Fig. 12.1.25 *i, j*	Idem, pentru deservirea unei suprafeţe de forma unui sector de cerc, sarcini de 15—151 tf, deschideri sub 800 m, înălţimi sub 200 m
	Macarale cu pod	Fig. 12.1.25, *k*	Idem, la deschideri sub 100 m, precum şi la depozite, staţii de transbordare
După modul de fixare al cablului pe suporţi	Macarale funicular cu fixare rigidă a cablului pe suporţi	Fig. 12.1.25 *a, b, e, g, j, k*	Ridicarea şi transportul sarcinilor pe şantiere cu gabarit limitat pe verticală, unde creşterea săgeţii la mijlocul cablului şi apariţia oscilaţiilor cablului nu sînt admise
	Macarale funicular cu fixare flexibilă a cablului pe suporţi	Fig. 12.1.25 *d*	Idem, la şantiere limitate pe orizontală, la care creşterea săgeţii la mijlocul cablului şi oscilaţiile nu au importanţă
	Macarale cu fixare pendulară a cablului şi a suporţilor	Fig. 12.1.25 *c, f, i*	Ridicarea şi transportul sarcinilor pe şantierele la care creşterea săgeţii şi apariţia oscilaţiilor nu au importanţă

Scanned with OKEN Scanner

Pentru mecanismul de variație a razei de acțiune, puterea se determină analog ca la mecanismul de ridicare.

Din punct de vedere al stabilității, este necesar ca macaralelor să li se asigure constructiv, atît echilibrarea platformei rotitoare în pozițiile spre înainte și spre înapoi față de cercul de rulare, cît și stabilitatea generală față de laturile perimetrului de sprijin, în ipoteza acțiunii simultane a greutății proprii, a sarcinii de ridicat, a vîntului și a forțelor de inerție. Astfel se determină coeficientul de stabilitate al macaralelor

$$c = 1 + \psi = 1 + \frac{M_G + \Sigma M_F - \Sigma M_W}{M_Q} \geqslant 1{,}15 \qquad (12.1.43)$$

unde: ψ este coeficientul de rezervă la stabilitate (15%); M_G — momentul greutății proprii; M_Q — momentul de răsturnare al sarcinii; ΣM_F — momentul de răsturnare al forțelor de inerție; ΣM_W — momentul de răsturnare dat de acțiunea vîntului. Macaraua este stabilă pentru $c \geqslant 1{,}15$. Verificarea stabilității se face conform instrucțiunilor tehnice *RI* — 58, pentru construirea, exploatarea și controlul macaralelor.

Montarea și demontarea macaralelor se realizează în condiții de șantier, avînd particularitățile legate de tipul macaralei.

Productivitatea macaralelor rotitoare se calculează conform tabelei 12.1.11 și ea se poate mări prin perfecționarea caracteristicilor tehnice ale macaralelor, întocmirea rațională a proiectelor de construcții, organizarea rațională a șantierelor și exploatarea corectă a lor.

Macaralele funicular au ca echipament de lucru un cărucior care rulează pe cablul purtător prevăzut cu cîrlig sau greifăr pentru prinderea sarcinii, așa cum se vede în fig. 12.1.30. Cablurile se reazemă pe suporți (turnuri). Sistemul de transmisii este mecanic și acționarea electrică, cu motoare individuale.

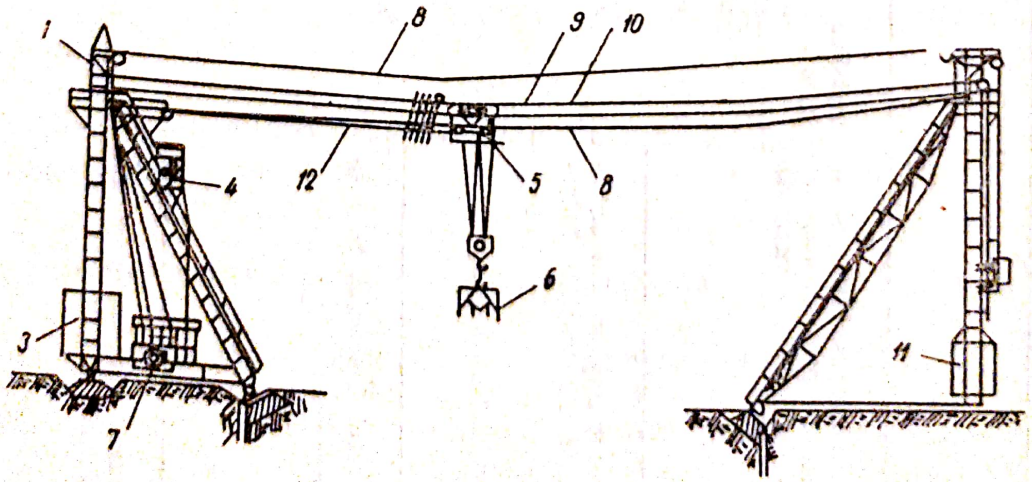


Fig. 12.1.30. Macara funicular deplasabilă paralelă:
1 — turnul stabil; *2* — suport pendular; *3, 11* — contregreutăți; *4* — cabina comandă; *6* — cărucior; *6* — sarcină; *7* — trolii; *8* — cablu tracțiune; *9* — cablu cu noduri; *10* — cablu purtător; *12* — cablu ridicare sarcină.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.1.11

Productivitatea macaralelor rotitoare

Caracterul lucrărilor	U/M	Productivitatea		Valori auxiliare			
		Cantitatea realizată	Formula de calcul și semnificația simbolilor	t_0	K_s	K_u	K_t
Montarea construcțiilor și a elementelor prefabricate, la construcții civile și industriale	metalice tf/h	Pînă la 7500 tf pe an pt. 1 tf capacitate maximă de ridicare	$P_{expl} = 3600\,Q\,\frac{K_u \cdot K_t}{t_c}$ unde: $t_c = K_s\left(\frac{s}{v} + t_0\right)$ și: t_c — durata unui ciclu, în secunde; K_s — coeficient de simultaneitate al elementelor mișcării; s — cursa efectuată de sarcină, în m; v — viteza de parcurgere a curselor; t_0 — timpul necesar pentru atîrnarea, accelerarea, frînarea și desprinderea sarcinii; Q — capacitatea de ridicare, în tf; K_u — coeficientul de utilizare al capacității de ridicare a sarcinii; K_t — coeficient de utilizare în timp	8—15 min	0,8—1,0	0,5—0,9	0,4—0,7
Montarea cofrajelor și a armăturilor la construcțiile hidrotehnice				10—12 min		0,6—0,8	0,5—0,8
Transportul betonului la construcțiile hidrotehnice				2 — 2,5 min		0,8—1,0	0,7—0,9
Ridicarea cărămizilor și materialelor de construcții				1 — 1,5 min		0,8—1,0	0,7—0,9

Scanned with OKEN Scanner

Faţă de problemele de calcul ale macaralelor rotitoare, mai este necesar calculul şi verificarea cablurilor.

Puterea necesară acţionării se determină analog, ca în cazul precedent, pentru mecanismele de ridicare şi deplasare. La mecanismul de tracţiune, puterea necesară este

$$N = \frac{T \cdot v}{75 \cdot \eta} \text{ [CP]}, \qquad N = \frac{T \cdot v}{102 \cdot \eta} \text{ [kW]} \qquad (12.1.44)$$

unde: T este forţa periferică pe tamburul troliului de tracţiune; v — viteza de înfăşurare a cablului; η — randamentul troliului.

Stabilitatea macaralei funicular se asigură prin ancorarea în fundaţii sau prin echilibrarea cu contragreutăţi (cele deplasabile).

Productivitatea se determină tot cu ajutorul tabelei 12.1.11, coeficientul de simultaneitate K_s stabilindu-se de la caz la caz, iar K_t fiind aproximativ egal cu 0,8—0,85.

Macaralele cu platformă rulantă sînt maşini de ridicat alcătuite în special, dintr-o platformă rulantă deplasabilă în lungul unei căi de rulare şi un cărucior mobil, deplasabil în lungul platformei. Se utilizează la ridicarea şi transportul pe orizontală al sarcinilor grele în interiorul incintelor dreptunghiulare (depozite, poligoane, etc.). Utilizarea lor este indicată în sectorul construcţiilor doar la lucrări mari. Tratarea se va rezuma doar la caracterizarea principalelor tipuri de asemenea macarale (vezi fig. 12.1.26. a, b, c, d):

— *poduri rulante* care au ambele căi de rulare aşezate deasupra solului la o anumită înălţime şi se utilizează în industria grea, fabrici de prefabricate etc.;

— *macarale capră* care au ambele căi de rulare sînt la nivelul solului (deservirea depozitelor, atelierelor, etc);

— *macarale semicapră* care au o cale de rulare pe sol şi una la o anumită înălţime, permiţînd deservirea unei suprafeţe dreptunghiulare situate în lungul unei clădiri;

— *poduri transbordoare* care sînt similare cu macaralele capră, dar cu deschidere şi capacitate de ridicare mult mai mari.

Productivitatea lor se determină tot cu ajutorul tabelei 12.1.11.

12.2. MAŞINI PENTRU LUCRĂRI DE TERASAMENTE

12.2.1. Maşini pentru pregătirea terasamentelor (scarificatoarele). Scarificatoarele sînt maşini folosite la afînarea pămîntului sau la distrugerea îmbrăcăminţilor rutiere vechi din piatră sau asfalt, uşurînd astfel lucrul buldozerelor în terenuri grele. Pentru a nu micşora volumul de pămînt compact antrenat de lama buldozerelor, care duce implicit la scăderea productivităţii acestora, se recomandă ca scarificarea să se facă perpendicular pe direcţia de deplasare a buldozerului.

Scanned with OKEN Scanner

Productivitatea scarificatoarelor este dată de relația:

$$P_{expl} = \frac{3600\,(b - 0{,}5)\,L_n}{\left(\frac{L_n}{v_n} + t_i\right) n} \cdot K_t \quad (m^3/h) \qquad (12.2.1)$$

în care: b este lățimea lamei, în metri; L_n este lungimea de nivelare la o trecere, în metri; K_t este coeficientul de utilizare în timp al scarificatorului (are valori cuprinse între 0,75—0,9); v_n este viteza de deplasare în timpul nivelării, în m/s; t_i este timpul necesar pentru întoarcere, în secunde (aproximativ 10 s); n este numărul de treceri succesive pe aceeași fîșie (1—2 treceri).

Valorile productivității scarificatoarelor sînt cuprinse între 500—2000 m²/h.

În figura 12.2.1, este dată schema scarificatorului D—162, alcătuit dintr-un mecanism de ridicare sau coborîre a ghearelor și un mecanism de deplasare. Mecanismul de ridicare al ghearelor, este compus din troliul 8, montat pe tractorul remorcher, cablul 10 și cadrul 2. La rotirea troliului, ghearele trec din poziția *a* în poziția *b*. Înfigerea ghearelor se face prin slăbirea cablului 10 sub efectul greutății proprii. Mecanismul de deplasare este cel corespunzător tractorului de remorcare, la care se adaugă roțile 4 ale scarificatorului.

În cazul pămînturilor foarte tari, sau pentru scarificarea îmbrăcăminților rutiere, se demontează, de obicei, o parte din colți, rămînînd să lucreze fie numai unul, fie numai trei din ei. Caracteristicile tehnice ale principalelor tipuri de scarificatoare, sînt date în tabele.

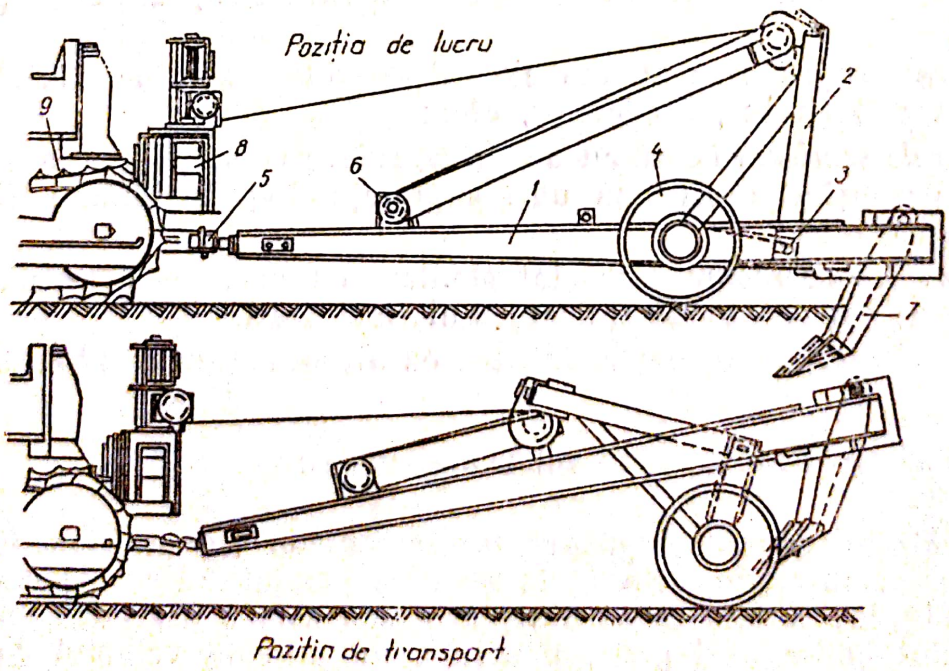


Fig. 12.2.1. Scarificatorul *D* — 162:
1 — cadru de tracțiune; *2* — cadru de ridicare; *3* — articulația comună a cadrelor; *4* — roți; *5* — inel de remorcă; *6* — scripeți; *7* — colți de scarificare; *8* — troliu (montat pe tractorul — remorcher); *9* — tractor S — 80; *10* — cablu.

Scanned with OKEN Scanner

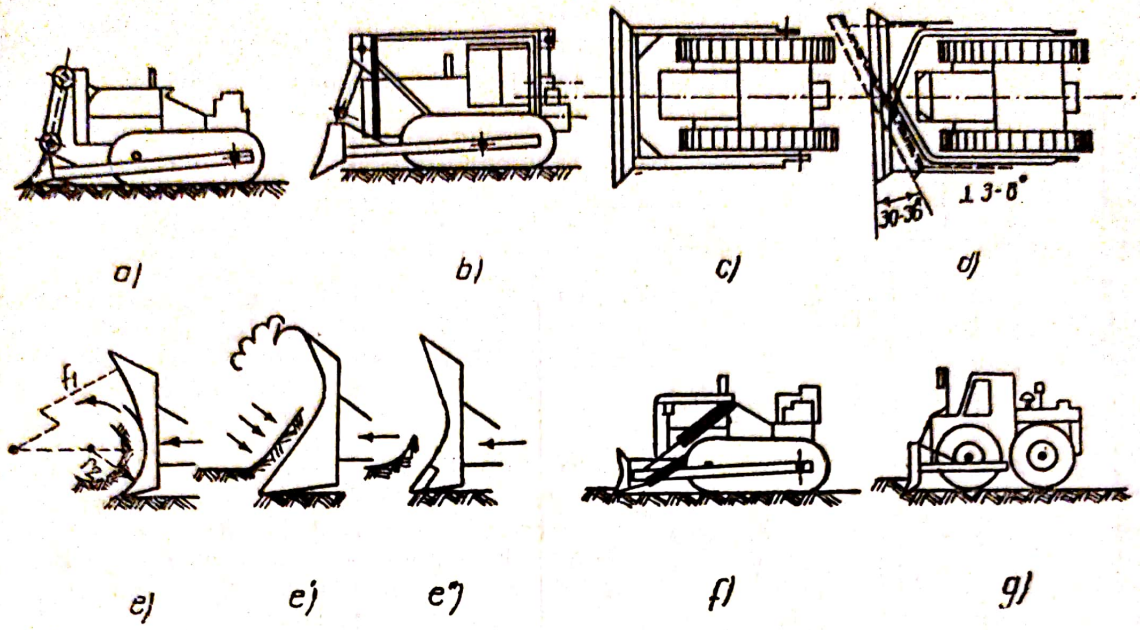


Fig. 12.2.2. Maşini pentru lucrări pregătitoare.

12.2.2. **Maşini de săpat, transportat şi nivelat pămîntul.** În cadrul acestui paragraf se vor trata buldozerele, excavatoarele, screperele şi grederele.

a) Buldozerele. Buldozerele servesc la deplasarea terenului la distanţe relativ mici (pînă la 50—100 m), la umplerea gropilor şi a şanţurilor, la nivelarea suprafeţelor, la îndepărtarea pămîntului de prisos, a molozului, a pietrişului sau a zgurii. Datorită productivităţii ridicate şi costului scăzut al lucrului, utilizarea buldozerelor este foarte economică.

În tabela 12.2.1 şi în schemele corespunzătoare din figura 12.2.2, este dată clasificarea buldozerelor, după particularităţile procesului tehnologic îndeplinit, respectiv schemele lor principiale constructive.

Organul de lucru al buldozerului este o lamă prevăzută, la partea inferioară, cu nişte cuţite. Lama este prinsă de un cadru prin intermediul căruia poate fi împinsă de tractor. În figura 12.2.3 este dată schema principială a buldozerului tip D—157, montat pe tractorul S—80. Mecanismul de ridicare al lamei, se compune din pîrghiile metalice 18, 22 şi 20, îmbinate prin intermediul palanelor 19 şi 21. Întreg mecanismul este fixat de lama buldozerului cu ajutorul palanului 7 şi a urechii de prindere 6. Echipamentul şi sistemul de comandă, sînt cele corespunzătoare tractorului suport. Acţionarea se face cu ajutorul motorului tractorului. Împingerea şi modificarea poziţiei lamei, poate fi comandată şi hidraulic, cu un sistem de sertăraşe şi conducte, deplasarea fluidului sub presiune fiind asigurată de o pompă.

În cazul buldozerelor universale, construcţia cadrului de împingere se modifică (fig. 12.2.4). Modificarea orientării lamei se face prin schimbarea poziţiei barelor 3, cu ajutorul unui sistem hidraulic, cu sertăraşe similar celui amintit anterior.

Caracteristicile tehnice ale buldozerelor de fabricaţie românească, sînt date în tabele.

Tabela 12.2.1

Mașini pentru lucrări pregătitoare; clasificarea și domeniul de utilizare

Criteriul clasificării	Denumirea grupei	Criteriul subclasificării	Denumirea mașinii	Schema	Domenini de utilizare
1	2	3	4	5	6
După particularitățile procesului tehnologic îndeplinit	Buldozere	După construcția echipamentului de lucru	Buldozere normale cu lamă fixă	Fig. 12.2.2 *a, b, c*	Săparea la suprafață, nivelarea și deplasarea terenului pe distanțe relativ mici (50—100 m). Umplerea gropilor, manevrarea materialelor în grămezi și a agregatelor în depozite, îndepărtarea molozului, a bolovanilor și a zăpezii, defrișarea terenurilor etc.
			Buldozere universale (cu lamă rotitoare)	Fig. 12.2.2. *d*	Idem, inclusiv profilarea terasamentelor, deplasarea laterală pe distanțe scurte a pământului
		După modul de fixare a organului de lucru	Buldozere cu lama suspendată de grinzile motorului	Fig. 12.2.2. *a*	Săparea de suprafață, nivelarea și transportul pe distanțe reduse
			Buldozere cu lama suspendată în cadrul tractorului	Fig. 12.2.2 . *b*	Idem
		După profilul organului de lucru	Buldozere echipate cu lamă cu curbură constantă	Fig. 12.2.2. *e*	Ca buldozere universale
			Buldozere echipate cu lamă de curbură variabilă, avînd curbura mai accentuată la partea superioară	Fig. 12.2.2. *e''*	Ca buldozere normale
			Buldozere echipate cu lamă cu curbură variabilă, avînd curbura mai accentuată la partea inferioară a lamei	Fig. 12.2.2. *e'''*	Idem

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.2.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6
După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Buldozere	După puterea echipamentului de comandă	Buldozere mici (lăţimea lamei (1,7 — 2,0 m)	—	Executarea lucrărilor de tăiere şi deplasare a terenurilor care necesită puteri cuprinse între 25—50 CP
			Buldozere mijlocii (lăţimea lamei: 2,0 — 3,2 m)	—	Idem pentru puteri cuprinse între 50—100 CP
		După tipul sistemului de forţă	Buldozere grele (lăţimea lamei 3,2—4,5 m)	—	Idem pentru puteri cuprinse între 100—150 CP
			Buldozere cu comandă mecanică cu cabluri	Fig. 12.2.2. *a, b*	Ca buldozere mijlocii şi în special ca buldozere grele. Sînt cele mai răspîndite.
		După particularit. mecanismului de deplasare	Buldozere cu comandă hidraulică	Fig. 12.2.2. *f*	Ca buldozere mici sau mijlocii. Permit adîncirea forţată a lamei în teren
			Buldozere pe şenile	Fig. 12.2.2. *a, b, c, d, f*	Executarea lucrărilor de tăiere şi deplasare a terasamentelor în terenuri accidentate şi grele
			Buldozere pe pneuri	Fig. 12.2.2. *g*	Idem în terenuri uşoare, nedesfundate. Se pretează bine în timpul transportului pe şosele

Problemale fundamentale de calcul, se referă la evaluarea sarcinilor (inclusiv forţele rezultante), la puterea motorului, la adîncimea maximă de săpare, la verificarea stabilităţii, etc.

Cunoaşterea sarcinilor care acţionează în timpul procesului de lucru asupra buldozerelor, permite efectuarea calculelor legate de construcţia şi funcţionarea normală şi exploatarea raţională a buldozerelor. Aceste sarcini sînt: greutatea tractorului; greutatea echipamentului de buldozer; greutatea contragreutăţii; greutatea prismei de pămînt adunate în faţa lamei; rezistenţa terenului de tăiere; rezistenţa de frecare la deplasarea prismei de pămînt din faţa lamei; rezistenţa la ridicarea terenului pe cuţit; rezistenţa principală la rulare; rezistenţa rampei (pantei); forţa de mişcare a tractorului; forţa aderentă la sol.

Forţele rezistente, care se opun procesului de lucru, se calculează pe baza unor relaţii (date în tabele), şi ţinîndu-se cont de următoarele rezistenţe

Scanned with OKEN Scanner

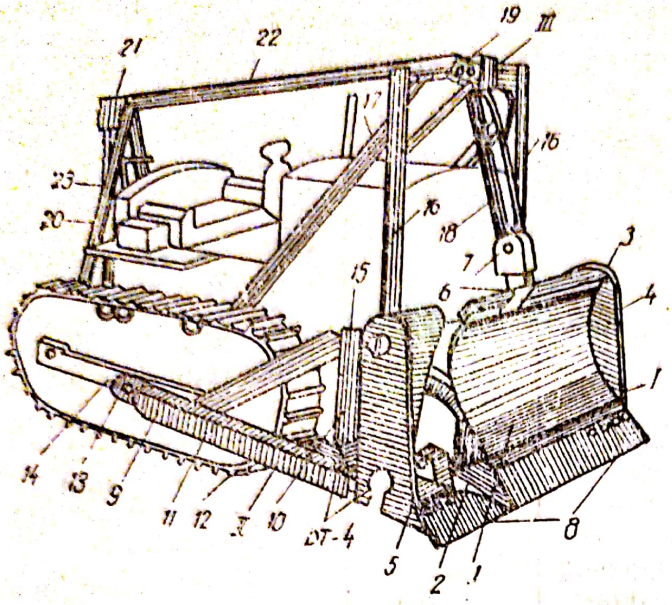


Fig. 12.2.3. Buldozerul *D* — 175, montat pe tractorul *S* — 80:

I — organul de lucru; *II* — cadrul de împingere; *III* — cadrul mecanismului de ridicare; *1* — lama; *2* — grinda inferioară; *3* — grinda superioară; *4* — scuturi laterale; *5, 6* — urechi de prindere *7, 19* — palan; *8* — cuţit demontabil; *9* — longeroane; *10* — montanţi; *11, 12* — contrafişe; *13* — pivot de împingere; *14* — placă sudată; *15* — buloane reglabile; *16, 20* — montanţii cadrului mecanismului de ridicare; *17* — contrafişă; *18* — cablu; *21* — scripete; *22* — grindă superioară; *23* — troliu.

specifice: rezistenţa specifică la tăiere k, care variază de la 0,4 la 2,5 kgf/cm² în funcţie de terenul de lucru; coeficientul de frecare f care nu depăşeşte valoarea 0,6; greutatea volumetrică γ a terenului, care se ia din tabele; unghiul de înclinare φ al taluzului natural; coeficientul K_a (dat în tabele), rezistenţa specifică f_r de rulare.

Deoarece, în timpul lucrului, rezistenţele provenite din deplasarea prismei de pământ în faţa lamei, R_{fp}, şi din ridicarea terenului pe cuţit, R_{fc}, cresc o dată cu creşterea greutăţii G_p, pentru realizarea unei forţe constante de tracţiune, este necesar ca adîncimea de săpare s să fie maximă la începutul săpării şi să se micşoreze apoi treptat, pe măsura creşterii celorlalte rezistenţe.

Puterea motorului, necesară pentru învingerea forţelor rezistente care apar în timpul procesului de lucru, se determină cu relaţia:

$$N = \frac{R \cdot v}{75\,\eta_{tr}} \qquad [\mathrm{CP}] = \frac{[\mathrm{kg \cdot f}] \cdot [\mathrm{m/s}]}{[1]} = \frac{[\mathrm{kg \cdot f}] \cdot [\mathrm{km/h}]}{[1]} \qquad (12.2.2)$$

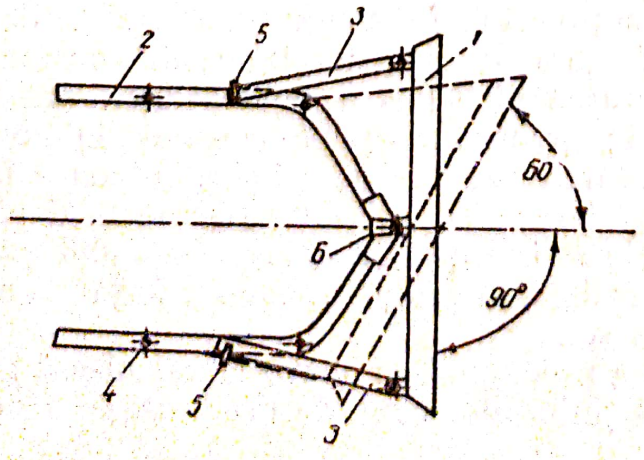


Fig. 12.2.4. Lama şi cadrul de împingere al buldozerelor universale:

1 — lama; *2* — cadrul împingător; *3* — bare pentru modificarea orientării lamei; *4* — găuri de fixare; *5* — cui de fixare; *6* — articulaţie.

unde: R este rezistența totală pe direcția de deplasare, v este viteza de lucru a buldozerului iar η_{tr} este randamentul transmisiilor ($\eta_{tr} = 0{,}70 - 0{,}90$).

Cunoscînd puterea motorului, se poate alege, sau verifica, tractorul necesar pentru acționarea unui echipament de buldozer dat. Forța de mișcare F_m a tractorului buldozerului, dată de motor, este:

$$F_m = 270 \cdot \frac{N}{v} \cdot \eta_{tr} \quad [\text{kgf} \cdot \text{f}] = \frac{[\text{CP}]}{[\text{km/h}]} \cdot [1] \qquad (12.2.3)$$

condiția de săpare a buldozerului fiind:

$$R \leqslant F_m \leqslant F_{ader} \qquad (12.2.4)$$

unde F_{ader} este forța aderentă la sol.

Adîncimea de săpare variază între 22 și 18 cm, pentru buldozerele mijlocii, la începutul și sfîrșitul nivelării, iar pentru buldozerele grele, între 18 și 12 cm.

Stabilitatea buldozerelor se verifică determinînd momentul de răsturnare la coborîrea unei pante și în momentul ridicării lamei din teren. Acest moment de răsturnare, calculat pe baza produsului-forța × brațul forței se va echilibra cu ajutorul unei contragreutăți, amplasate corespunzător.

Productivitățile buldozerelor se calculează cu relațiile:

$$P_{expl} = \frac{3600}{t_c} \cdot \frac{q \cdot K_p}{K_a} \cdot K_t \quad \text{(la săpare și transport)} \qquad (12.2.5)$$

$$P_{expl} = \frac{3600\,(b - 0{,}5)\,L_n}{\left(\frac{L_n}{V_n} + t_i\right)\eta} \cdot K_t \quad \text{(la nivelare)} \qquad (12.2.6)$$

unde: q este volumul geometric al prismei de pămînt adunate în fața lamei, în m³; t_c este durata unui ciclu, în secunde; K_p este coeficient ($K_p = 1 - 0{,}005\,L$); L este distanța de transport, în metri; K_a este un coeficient ($K_a = 1{,}1 - 1{,}5$).

Celelalte notații sînt identice cu ale scarificatoarelor (v. parag. 12.2.1).

Practic, s-a constatat că valorile productivităților sînt cuprinse între (25—250) m³/h, la săpare și transport și între (1000 — 7000) m³/h, la nivelare.

Factorii principali care influențează productivitatea sînt: distanța de transport, puterea motorului, dimensiunile lamei, panta și natura terenului, realizîndu-se diagrame pentru această dependență.

b) Excavatoarele sînt mașini destinate executării lucrărilor de săpare, atît în construcții cît și în cariere.

În tabela 12.2.2 se dă o clasificare excavatoarelor, iar în fig. 12.2.5 sînt reprezentate schemele de principiu constructive ale acestora.

Scanned with OKEN Scanner

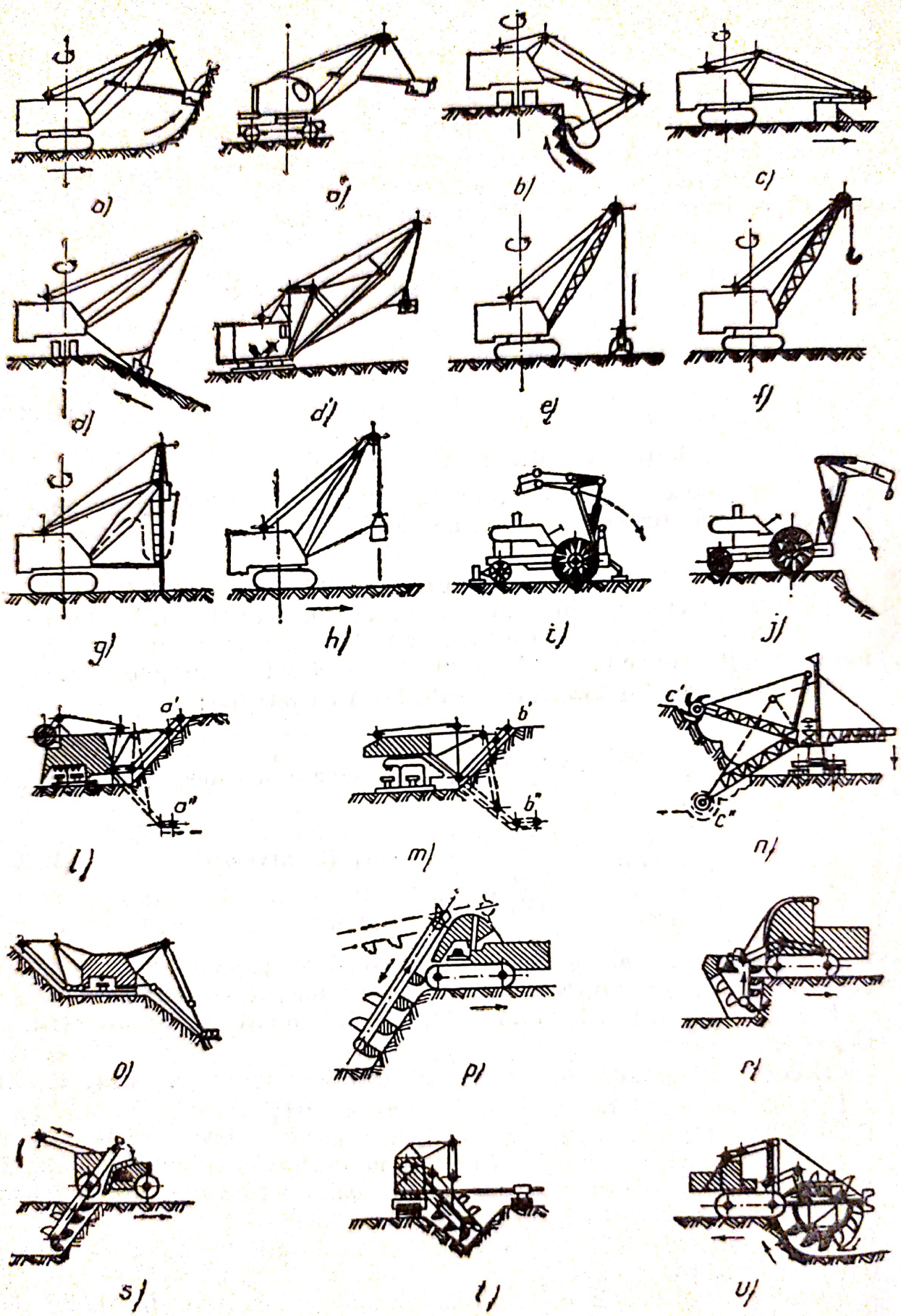


Fig. 12.2.5. Schemele principiale ale excavatoarelor cu una sau mai multe cupe.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.2.2

Excavatoare cu o cupă. Clasificarea şi domeniul de utilizare

Criteriul	Denumirea maşinii		Schema	Domeniul de utilizare
1	2		3	4
După construcţia echipamentului de lucru	Excavatoare cu cupa legată rigid de braţ	Excavatorul cu cupă împinsă (lingură dreaptă)	Fig. 12.2.5 *a*, *a'*	Săparea şi încărcarea în mijloacele de transport a terenurilor de categoria I-VI, situate deasupra nivelului de staţionare al excavatorului, încărcarea materialelor, exploatarea carierelor etc.
		Excavatorul cu cupa întoarsă (lingură inversă)	Fig. 12.2.5 *b*	Idem, sub nivelul de staţionare; săparea gropilor, tranşeelor, fundaţiilor etc.
		Excavatorul — rindea (nivelator)	Fig. 12.2.5 *c*	Idem, în abataje de mică înălţime sau pentru lucrări de nivelare
	Excavatoare cu cupa legată flexibil de săgeată	Draglina (excavatorul cu cupa aruncată şi trasă)	Fig. 12.2.5 *d*, *d'*	Săparea şi chiar încărcarea în mijloacele de transport a terenurilor uşoare şi mijlocii (sub nivelul de staţionare): canale, diguri, drumuri, căi ferate, lucrări de taluzare, încărcarea materialelor friabile etc.
		Graifărul (excavatorul cu fălci)	Fig. 12.2.5 *e*	Săparea terenurilor uşoare sub nivelul de staţionare şi a solurilor umezite sau inundate, în terenuri cu depresiuni mari, încărcarea şi descărcarea materialelor friabile etc.
	Excav. cu dif. organe de lucru	Excavatorul — macara 8	Fig. 12. 2.5 *f*	Lucrări de încărcare-descărcare; ridicarea sarcinilor grele
	Excavatoare prevăzute cu diferite organe de lucru	Excavatorul — sonetă	Fig. 12.2.5 *g*	Baterea piloţilor şi palplanşelor (v. cap. IX)
		Excavatorul prevăzut cu placă bătătoare	Fig. 12.2.5 *h*	Compactarea terasamentelor (v. cap. VIII)

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.2.2 (continuare)

1	2		3	4
După poziţia echipamentului de lucru în timpul săpării	Excavatoare cu săpare de înălţime	Excavatorul cu cupă împinsă (lingură dreaptă)	Fig. 12.2.5 *a*	Compactarea terasamentelor (v. cap. VIII)
	Excavatoare cu săpare în adîncime	Excavatorul cu cupa întoarsă (lingură inversă)	Fig. 12.2.5 *b*	Ca mai sus
		Draglina	Fig. 12.2.5 *d*	Ca mai sus
		Graifărul	Fig. 12.2.5 *e*	Ca mai sus
După capacit. org. de lucru (sau cl. fundamentală de constr.)	Excavatoare de nivel	Excavatorul — rindea (nivelator)	Fig. 12.2.5 *c*	Ca mai sus
		Excavatorul prevăzut cu placă bătătoare	Fig. 12.2.5	Ca mai sus
	Excavatoare mici (capacitatea cupei 0,25 ..... 1,5 m³)	Model uşor (teren Cat. a III-a)	—	Executarea lucrărilor de terasamente pe şantierele la care volumul total de săpătură este cuprins între 5 000 (excavatoare cu cupa de 0,25 m³) şi 40 000 m³ (cupa de 1,5 m³)
		Model mijlociu (teren cat. IV ..V)		
		Model greu (teren cat. V ... VI)		
	Excavatoare de clasă medie (capacit. cupei 1,7 ... ...5 m³)	Model uşor	—	Lucrări de terasamente, la volumul de peste 60 000 ... 300 000 m³; lucrări în cariere. Necesită acţionare Diesel, electrică sau Diesel electrică
		Model mijlociu		
		Model greu		
	Excavatoare mari (capacitatea cupei 6 ... 30 m³)	Model uşor	—	Lucrări descoperite sau în depozite, cu un volum de lucrări cuprins între 350 000 ... 950 000 m³/lună (deplasare pe 4 şenile sau căi ferate; acţionare electrică de înaltă tensiune)
		Model mijlociu		
		Model greu		

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.2.2 (continuare)

1	2	3	4
După natura echipamentului de forţă	Excavatoare cu motoare cu ardere internă	—	Ca excavatoare de clasă mică şi clasă medie
	Excavatoare electrice	—	Ca excavatoare de clasă medie şi mare
	Excavatoare Diesel-electrice	—	Ca excavatoare de clasă medie şi mare
	Excavatoare cu abur	—	Se utilizează destul de rar, din cauza randamentului scăzut şi consumului ridicat de combustibil şi apă
După sistemul de acţionare	Excavatoare cu acţionare de la un singur motor	—	Ca excavatoare de clasă mică şi medie
	Excavatoare cu acţionare de la mai multe motoare	—	Ca excavatoare de clasă mică, medie şi mare
După tipul sistemului de comandă	Excavatoare cu comenzi mecanice	Fig. 12.2.5 *a, b, e*	Ca excavatoare de clasă mică şi medie
	Excavatoare cu comenzi hidraulice	Fig. 12.2.5 *i, j*	Ca excavatoare de clasă mică (fig. 12.2.9 i, j), medie şi mare
	Excavatoare cu comenzi pneumatice		Ca excavatoare de clasă mică şi medie
	Excavatoare cu comenzi electrice	—	Ca excavatoare de clasă mică, medie şi mare
	Excavatoare cu comenzi combinate mecanice-hidraulice, mecanice-pneumatice, electrohidraulice	—	Ca excavatoare de clasă mică, medie şi mare
După particularităţile mecanismului de deplasare	Excavatoare pe şenile	Fig. 12.2.5 *a, b, c, d, e*	Ca excavatoare de clasă mică, medie şi mare, în terenuri grele
	Excavatoare cu pneuri	Fig. 12.2.5 *a'*	Ca excavatoare rapide, de clasă mică, cu mobilitate mare la deplasare, în terenuri nedesfundate
	Excavatoare pe roţi de cale ferată	—	Ca excavatoare mari (grele)
	Excavatoare păşitoare	Fig. 12.2.5 *d*	Cu dragline păşitoare cu capacitatea cupei peste 3 m³, în terenuri slabe afînate

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.2.2 (continuare)

1		2		3	4
După poziţia echipamentului de lucru în timpul săpării	Excavatoare cu mai multe cupe cu săpare transversală	Excavatoare cu săpare de înălţime	Excavatorul cu elindă, cu săpare de înălţime	Fig. 12.2.5 *l'*, *m'*	Nivelarea rambleelor (în cazul lucrărilor mari) cu încărcarea pămîntului în vagonete sau vagoane de cale ferată, lucrări în cariere etc. (terenuri categoria I—III, fără incluziuni mari şi terenuri omogene, categoria a IV-a)
			Excavatorul cu rotor cu săpare de înălţime	Fig. 12.2.5 *n'*	Săparea terasamentelor (ramblee) în terenuri omogene şi chiar neomogene pînă la categoria a IV-a, executarea lucrărilor de încărcare etc.
		Excavatoare cu săpare de adîncime	Excavatorul cu elindă, cu săpare în adîncime	Fig. 12.2.5 *l''*, *m''*	Exploatarea carierelor de argilă, nisip, pietriş etc., nivelarea rebleelor la lucrări de drumuri şi căi ferate, construcţii hidrotehnice mari, încărcarea pămîntului în mijloace de transport etc.
			Excavatorul cu rotor, cu săpare în adîncime	Fig. 12.2.5 *n''*	Săparea rebleelor şi tranşeelor, executarea lucrărilor de încărcare
		Excavatoare cu săpare de înălţime şi adîncime	Excavatorul cu elindă, cu săpare de înălţime şi adîncime	Fig. 12.2.5 *o*	Exploatarea carierelor, prelucrarea simultană a rambleelor şi debleelor în cazul lucrărilor mari: drumuri, căi ferate etc. în terenuri omogene
	Excavatoare cu mai multe cupe cu săpare longitudinală (frontală)	Excavatoare cu elindă	Excavatorul cu elindă axială pentru săpat şanţuri de mare adîncime	Fig. 12.2.5 *p*	Executarea şanţurilor lungi, cu secţiune dreptunghiulară de adîncime mai mare, necesare pentru instalarea conductelor de petrol, gaz metan, cabluri electrice subterane, canalizare etc., în terenuri categoria I—III
			Excavatorul cu elindă — cadru, axială, pentru săpat şanţuri de mică adîncime	Fig. 12.2.5 *r*	Executarea şanţurilor lungi de adîncime mai mică, în terenuri omogene, categoria I—III
			Excavatorul cu elindă laterală	Fig. 12.2.5 *s*	Săparea şanţurilor laterale (unde accesul este posibil numai pe o singură parte)
			Excavatorul cu elindă transversală pentru lucrări de hidroamelioraţii	Fig. 12.2.5 *t*	Săparea canalelor uşoare, profilate, necesare la lucrările de hidroamelioraţii

Tabela 12.2.2 (continuare)

1	2		3	4
După construcţia echipamentului de lucru	Excavatoare cu cupele legate flexibil de lanţ	Excavatoarele cu elindă cu săpare transversală, de înălţime, adîncime şi înălţime-adîncime	Fig. 12.2.5 *l'*, *l''*, *m'm''*, *o*	Săparea terasamentelor categoria I—III în terenuri fără incluziuni mari şi a terenurilor omogene categoria a IV-a. Executarea rambleelor, debleelor şi exploatarea carierelor
		Excavatoarele cu elindă cu săpare longitudinală pt. săpat şanţuri axiale, laterale şi pentru hidroamelioraţii	Fig. 12.2.5 *p*, *r*, *s*, *t*	Săparea terasamentelor categoria I—III, dacă nu au pietre sau incluziuni mari. Executarea şanţurilor şi a diferitelor profile
	Excavatoare cu cupele legate rigid pe rotor	Excavatoarele cu rotor cu săpare transversală de înălţime şi adîncime	Fig. 12.2.5 *n'*, *n''*	Săparea rambleelor şi a debleelor în terenuri pînă la categoria a IV-a. Executarea lucrărilor de încărcare
		Excavatorul cu rotor pt. săpat şanţuri axiale	Fig. 12.2.5 *u*	Săparea şanţurilor profilate în terenuri neomogene pînă la categoria a IV-a
După natura echipamentului de forţă		Excavatoare cu motoare cu ardere internă	—	Ca excavatoare cu săpare longitudinală
		Excavatoare electrice	—	Ca excavatoare cu săpare transversală
		Excavatoare Diesel-electrice	—	Ca excavatoare cu săpare transversală
După modul de acţionare		Excavatoare cu acţionare de la un singur motor	—	Ca excavatoare cu săpare longitudinală sau transversală
		Excavatoare cu acţionare de la mai multe motoare	—	Ca excavatoare cu săpare transversală
După particularităţile mecanismului de deplasare		Excavatoare pe roţi de cale ferată	Fig. 12.2.5 *l*, *m*, *o*	Ca excavatoare cu săpare transversală
		Excavatoare pe şenile	Fig. 12.2.5 *n*, *p*, *t*, *r*, *u*	Ca excavatoare cu săpare longitudinală
		Excavatoare uşoare pe pneuri	Fig. 12.2.5 *s*	Ca excavatoare uşoare cu elindă laterală

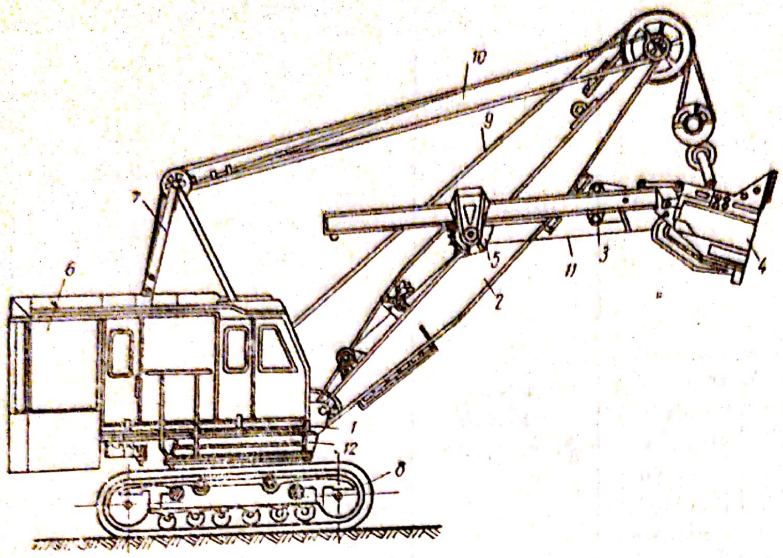


Fig. 12.2.6. Schema constructivă a excavatorului cu lingură dreaptă:
1 — platformă rotitoare; *2* — săgeată; *3* — braţul cupei (mîner); *4* — cupă; *5* — pinionul mecanismului de împingere a cupei cu abataj; *6* — cabina platformei; *7* — suport; *8*; — căruciorul mecanismului de deplasare; *9* — cablul mecanismului pentru ridicarea cupei; *10* — cablul mecanismului pentru variaţia deschiderii săgeţii; *11* — cablul mecanismului pentru deschiderea fundului cupei; *12* — cerc de rulare.

Echipamentul de lucru al excavatorului cu lingură dreaptă (fig. 12.2.6) se compune din cupa 4, braţul cupei 3 şi săgeata 2. Platforma rotitoare 1 serveşte ca punct de sprijin echipamentului de lucru şi ca bază de susţinere pentru echipamentul de forţă, sistemul transmisiilor şi cabina de comandă. 6. Cadrul inferior susţine platforma rotitoare 1, cercul de rulare 12 şi transmite încărcările căruciorului mecanismului de deplasare cu şenile 8. La rîndul lui, cadrul inferior se reazemă pe şenile prin intermediul unor rotile individuale sau grupate cîte trei.

Schema mecanismului de ridicare şi împingere poate fi independentă, cu cabluri, dar datorită dezavantajelor legate de consum relativ mare de energie şi de complexitatea lor, el este înlocuit de către sistemele dependente şi combinate. Acestea au avantajul simplităţii constructive, dar au o sensibilitate mai mică la comenzi, fapt care duce la utilizarea lor mai mult pe excavatoarele mici.

În cazul excavatoarelor cu lingură inversă, a căror schemă constructivă este identică cu a celor cu lingură dreaptă, cu excepţia echipamentului de lucru, cupa este reprezentată în fig. 12.2.7).

Excavatorul de tip rindea este identic, ca şi principiu constructiv, cu excavatorul cu lingură dreaptă. Cupa este însă prevăzută cu un cărucior propriu de rulare care se deplasează în timpul lucrului de-a lungul săgeţii, iar mecanismul de împingere se transformă în mecanism de tracţiune.

Echipamentul de lucru al excavatoarelor, de tip draglină (fig. 12.2.8) este format din cupa 2, săgeata 1, cablul de ridicare a şi cablul de tracţiune al cupei care serveşte pentru faza de săpare. Cablul de egalizare are rolul de a orienta cupa în faza de săpare în aşa fel, încît să se efectueze săparea şi să fie tîrîtă pe suprafaţa solului. Operaţia de săpare se face în felul următor: cu ajutorul cablului *b* se dă un balans cupei după care se lansează cupa asupra terenului, aceasta înfigîndu-se în pămînt. Prin tensionarea în continuare a cablului *b* se execută săparea şi încărcarea cupei cu pămînt. Se tensionează apoi cablul de ridicare, fără însă a-l slăbi pe cel de tracţiune realizînd astfel

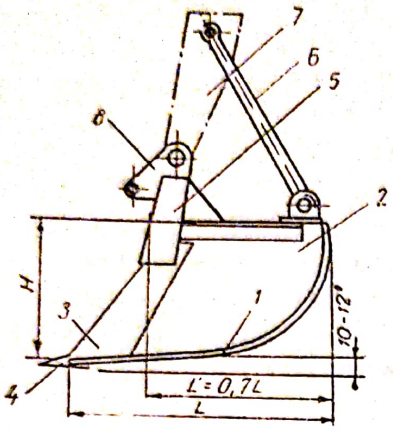


Fig. 12.2.7. Cupa excavatorului cu lingură inversă:
1 — peretele din faţă; *2* — perete lateral; *3* — muchie tăietoare; *4* — dinţi; *5* — bară curbă; *6* — bare de fixare; *7* — braţul cupei; *8* — locaşul scripetelui.

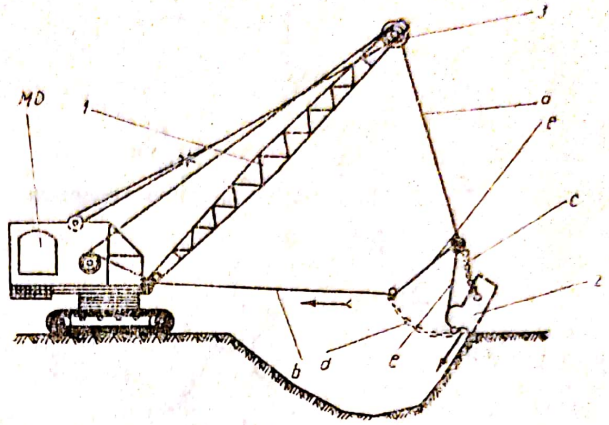


Fig. 12.2.8. Excavatorul draglină:
1 — săgeata; *2* — cupa; *M.D.* — motorul Diesel de antrenare; *a* — cablu de ridicare; *v* — cablu de tracţiune a cupei; *c* — lanţ; *d* — lanţ; *e* — cablu de egalizare.

ridicarea cupei încărcate. Se roteşte platforma pînă ajungem cu ea deasupra mijlocului de transport. Draglinele prezintă avantajul că pot lucra în terenuri umede sau chiar sub apă.

Excavatoarele cu mai multe cupe, sînt maşini de săpat pămîntul, cu caracter continuu. Săparea se face cu cupe metalice fixate de un lanţ gall, mobil, a cărui mişcare este dată de un cadru executat din grinzi cu zăbrele. Pămîntul luat de cupe este vărsat fie într-un buncăr, de unde poate fi descărcat în autocamioane, fie pe o bandă transportoare, care îl aruncă lateral. Excavarea se poate face transversal şi longitudinal.

Excavatorul cu cupe cu săpare longitudinală (fig. 12.2.9) este utilizat la săparea şanţurilor, la îngroparea conductelor de alimentare cu apă, a celor de canalizare sau la conductele de petrol şi liniile de comunicaţii subterane. Motorul 2 antrenează roata motoare 6 a lanţului cu cupe de pe grinda cu zăbrele. 5. Fermele verticale trapezoidale 3 susţin buncărul 4. Lateral, este amplasat transportul cu bandă 7.

Excavatorul cu cupe cu săpare transversală se deosebeşte principial, de cel cu săpare longitudinală, doar prin amplasarea din timpul lucrului, transversală faţă de poziţia de mers a şenilelor, a grinzii de susţinere a lanţului cu cupe. Viteza lanţului cu cupe este de aproximativ 0,5 m/s.

Caracteristicile tehnice ale principalelor tipuri de excavatoare existente pe şantierele noastre, sînt date în tabele.

Calculele fundamentale ale excavatoarelor se referă în special la: determinarea sarcinilor (greutate proprie, forţe de inerţie, vînt); puterea necesară pentru lucrul într-un teren dat; stabilirea înălţimii optime a abatajului sau a greutăţii necesare a cupei; cunoaşterea şi verificarea condiţiilor cerute de asigurarea stabilităţii; condiţiile create de transport, etc.

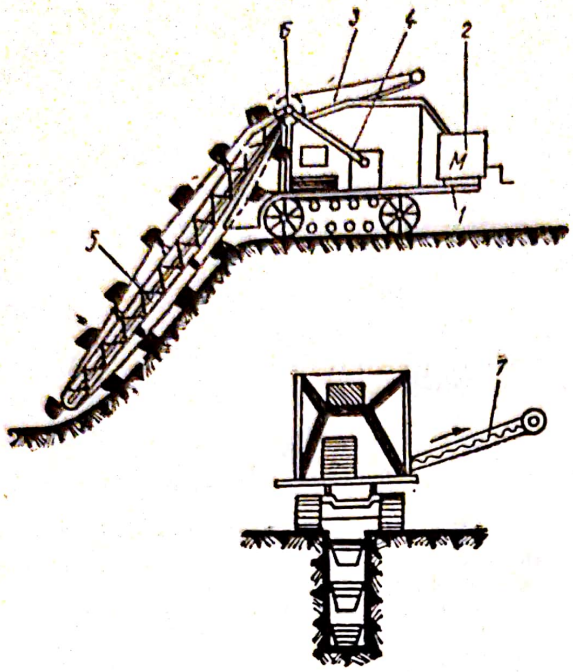


Fig. 12.2.9. Excavatorul cu mai multe cupe cu săpare longitudinală:
1 — cadru; *2* — motor; *3* — fermă de susținere; *4* — buncăr; *5* — brațul cu cupe; *6* — roata motoare; *7* — transportor.

Productivitatea excavatoarelor cu o cupă se calculează cu relația generală:

$$P_{expl} = \frac{3600}{t_c} \cdot \frac{q \cdot K_v \cdot K_t}{K_a} \qquad (12.2.7)$$

în care: t_c este durata unui ciclu, în secunde; q este capacitatea geometrică a cupei, în m³; K_v, K_t K_a sînt coeficienții de umplere, de utilizare în timp a excavatorului, respectiv de afînare a terenului, și au valorile $K_v = 0{,}65 - - 1{,}42$, $K_a = 0{,}70 - 0{,}90$, $K_t = 1{,}08 - 1{,}60$.

Numărul de mijloace de transport, necesar asigurării productivității, este

$$n = \frac{T_c}{t_1} \qquad (12.2.8)$$

unde: T_c este durata ciclului mijlocului de transport, în minute; t_1 — timpul necesar pentru încărcarea mijlocului de transport, în minute.

Factorii care influențează asupra productivității sînt: construcția echipamentului de lucru (prin intermediul duratei ciclului, care depinde de mărimea organelor componente și de mărimea vitezelor de lucru), capacitatea cupei, natura terenului (prin coeficienții de calcul pe care introduce), unghiul de rotire al platformei, înălțimea abatajului, modul de descărcare al cupei (în mijloace de transport, sau direct în depozit) și calificarea mecanicului și a personalului de deservire, în general.

În cazul excavatoarelor cu mai multe cupe, productivitatea se determină cu relațiile:

— pentru săpare transversală $P_{expl} = \frac{3600 \cdot v \cdot q \cdot K_u \cdot K_p \cdot K_t}{1000 \cdot a \cdot K_a}$ (12.2.9)

— pentru săpare longitudinală $P_{expl} = 3600 \cdot B \cdot H \cdot V_e \cdot K_t$ (12.2.10

în care : v, este viteza cupelor, în m/s ; a este distanța între două cupe, în m ; q, este capacitatea geometrică a cupei, în m^3 ; K_u este coeficientul de umplere al cupei, egal cu 0,85 — 1,05 ; K_p —este coeficientul de dificultate al săpării pămîntului egal cu 0,70—1,00 ; K_t este coeficientul de utilizare în timp al mașinii, egal cu 0,70—0,90; K_a este coeficientul de afînare al terenului, egal cu 1,15—1,30 ; B este lățimea șanțului, în m ; H este adîncimea șanțului, în m; V_e este viteza de lucru a excavatorului, în m/s.

Productivitatea, în acest caz, depinde de capacitatea și viteza cupelor, de distanța între două cupe consecutive, de natura terenului și de gradul de organizare al șantierului. Nu se recomandă o mărire exagerată a numărului de cupe (deci o micșorare a distanței între cupe) întrucît se afectează bunul mers al procesului de descărcare a materialului săpat fie în depozit, fie în mijlocul de transport.

c) *Screperele și grederele* sînt mașini pentru săpatul, transportul și nivelarea terenului.

Organul de lucru al screperelor este o cupă 6 (fig. 12.2.10) care are fixate în partea inferioară unul sau mai multe cuțite, cu ajutorul cărora, atunci cînd cupa este coborîtă, se sapă pămîntul. Se recomandă utilizarea screperului la pămînturile medii, de umiditate normală, întrucît pămîntul argilos, umed, se lipește de marginile cupei, împiedicînd umplerea acesteia și ducînd, în acest fel, la scăderea sensibilă a productivității mașinii.

Comanda screperului poate fi realizată hidraulic sau cu cabluri. Datorită avantajelor legate de simplitate, din punct de vedere constructiv, și de asigurare a vitezelor necesare de ridicare și coborîre, cît și a deplasărilor

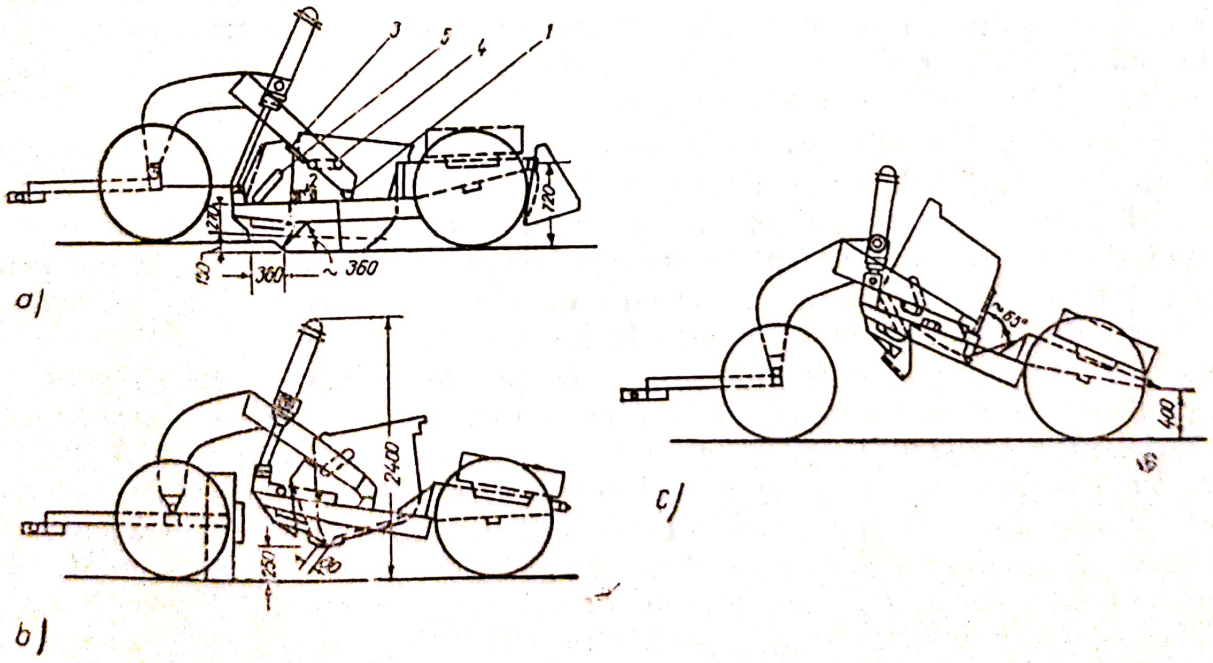


Fig. 12.2.10. Schema screperelui D — 354 :

a — umplerea cupei ; *b* — transportul pămîntului ; *c* — golirea ; *1* — articulație de prindere a cadrului din față de cel din spate ; *2* — articulație de prindere a cupei ; *3* — articulație de prindere a oblonului ; *4* — tije pentru prinderea cupei ; *5* — tije pentru prinderea oblonului ; *6* — cupa.

Scanned with OKEN Scanner

necesare ale organelor de lucru, se preferă comanda prin cablu. Constructiv, ea se aseamănă cu comanda prin cablu a excavatoarelor. Principiul de funcţionare a sistemului de cabluri, în diferitele situaţii (lucru, transport, golire), se poate urmări pe figura 12.2.10. În vederea măririi productivităţii şi a capacităţii de lucru, screperele se pot adapta la un sistem autopurtat, denumindu-se în acest caz autoscrepere. Principiul lor constructiv şi de funcţionare nu se schimbă; acţionarea şi comanda funcţionării screperului se face, în acest caz, de la motorul autocamionului, prin intermediul unei prize de putere şi a unei transmisii combinate, hidraulică şi mecanică (cu pîrghii comandate de cilindrii sistemului hidraulic).

Echipamentul de lucru al grederului remorcat $D-208$ (fig. 12.2.11) este alcătuit din lama de oţel cu curbură constantă 4, cercul de rotire şi 5 cadrul de tracţiune 6. Echipamentul de forţă este cel corespunzător tractorului de remorcare. Din punct de vedere cinematic, grederele sînt alcătuite din mecanismul de ridicare-coborîre a lamei, mecanismul de deplasare laterală a acesteia, mecanismul de rotire al lamei în plan orizontal, mecanismele de înclinare a roţilor din spate şi a celor din faţă, mecanismul de dirijare a barei de tracţiune, mecanismul de deplasare transversală a cadrului principal şi mecanismul de deplasare al grederului. Similar ca şi la screper, şi din aceleaşi motive, se ataşează grederul propriu-zis unui mecanism autopurtat, grederul purtînd în acest caz denumirea de „autopropulsat"; schema lui este, principial, aceeaşi cu cea a grederului, cu menţinerea că se adaugă mecanismul de autopropulsie.

Caracteristicile tehnice principale ale screperelor şi grederelor de fabricaţie românească sînt date în tabele.

Problemele fundamentale de calcul, atît la screpere cît şi la gredere se referă la evaluarea sarcinilor, la puterea motorului sau a tractorului de remorcare, la determinatea numărului de screpere sau gredere deservite simultan şi la verificarea stabilităţii.

În cazul screperelor, sarcinile care intervin sînt: greutatea screperului; greutatea pămîntului din cupă; greutatea prismei de pămînt adunate în faţa cupei (care se poate calcula pe baza unor relaţii geometrice, ţinîndu-se cont de volumul ocupat şi de greutăţile specifice corespunzătoare); rezistenţa terenului la tăiere; rezistenţa de frecare la deplasarea prismei de pămînt din faţa cupei; rezistenţa la încărcarea pămîntului în cupă; rezistenţa la rulare a screperului şi rezistenţa rampei (a pantei). Acestea se calculează pe baza unor relaţii funcţie de următoarele rezistenţe specifice şi coeficienţi: rezistenţa specifică la tăiere, k, care variază între 0,35—0,6 kgf/cm² pentru terenuri uşoare şi între 0,6—1,2 kgf/cm² pentru terenuri grele; adîncimea de săpare, în mod curent, de (10—20) cm; coeficientul de frecare, f, greutatea volumetrică, γ, coeficientul cantităţii de pămînt adunate în faţa cupei, K_{pl}, coeficientul de afînare al terenului K_a, coeficientul de umplere al cupei K_v, toate date în tabelele corespunzătoare; coeficientul de înălţime al prismei de pămînt y, care variază între 0,5—0,7; rezistenţa specifică la rulare care are valori cuprinse între 0,1—0,25, în funcţie de natura şi starea terenului.

Scanned with OKEN Scanner

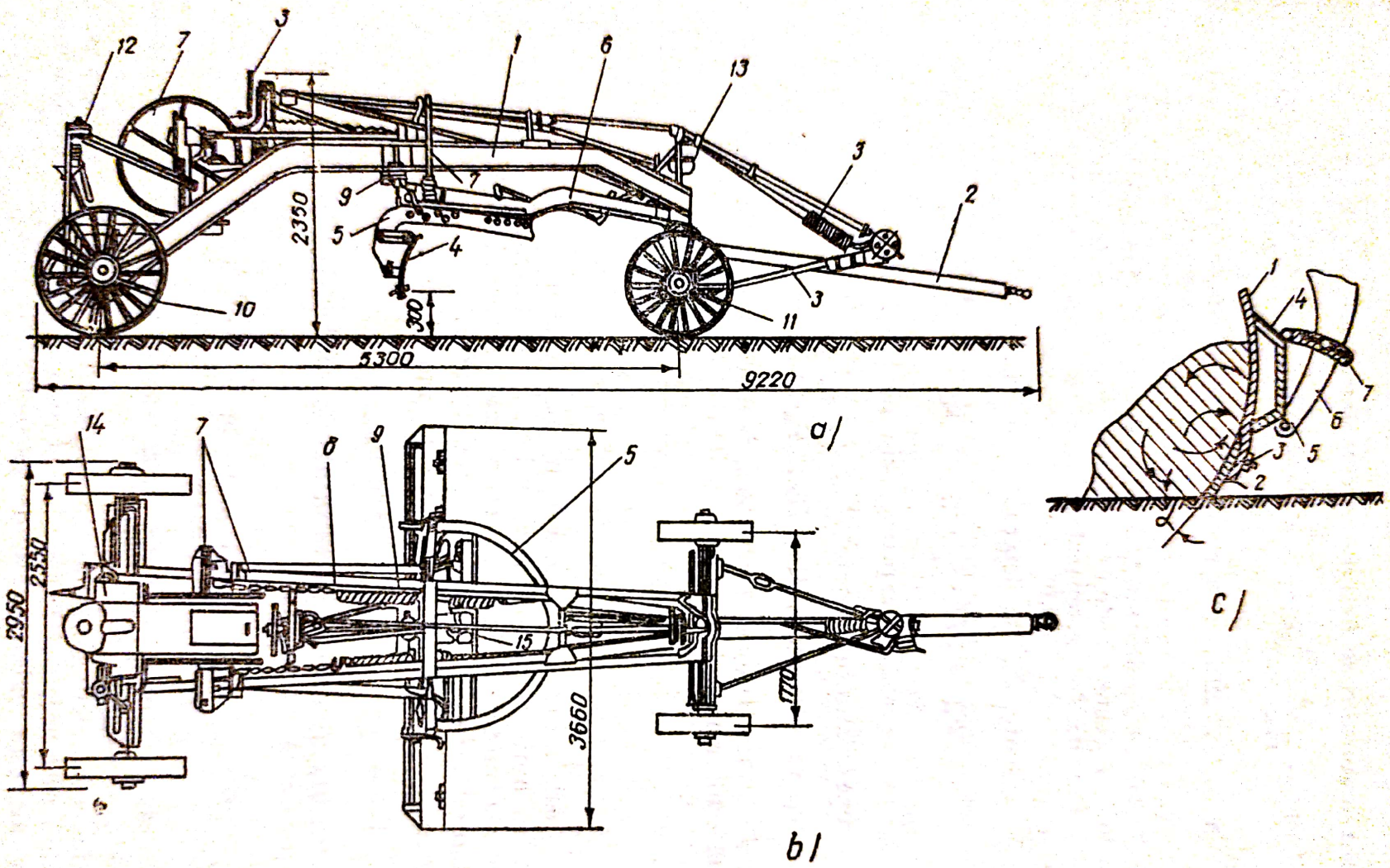


Fig. 12.2.11. Grederul remorcat *D* — 20 B:

a — vedere laterală; *b* — vedere de sus; *1* — cadrul principal; *2* — bară de tracțiune (proțap); *3* — mecanismul de dirijare a barei de tracțiune; *4* — lamă; *5* — cercul de rotire; *6* — cadrul de tracțiune; *7,8* — mecanismul de ridicare a lamei; *9* — mecanismul de deplasare laterală a lamei; *10* — roțile din spate; *11* — roțile din față; *12* — mecanismul de înclinare a roților din spate; *13* — mecanismul de înclinare a roților din față; *14* — mecanismul pentru deplasarea transversală a cadrului principal; *15* — mecanismul de rotire a lamei în planul orizontal.

Scanned with OKEN Scanner

Puterea motorului se determină cu relația:

$$N = \frac{R \cdot v}{75\,\eta_{tr}} \qquad [CP] = \frac{[kg \cdot f] \cdot [km/h]}{[1]} \text{ pentru screpere autopropulsate} \tag{12.2.11}$$

$$N = \frac{(R + R_T)v}{75\,\eta_{trT}} \qquad [CP] = \frac{[kgf] \cdot [km/h]}{[1]} \text{ pentru screpere remorcate} \tag{12.2.12}$$

în care: R este rezistența totală la deplasare a screperului; v este viteza de deplasare; R_T este rezistența totală la rulare a tractorului; η_{tr} este randamentul transmisiilor screperului; η_{trT} este randamentul transmisiilor tractorului ($\eta_{trT} = 0{,}7 - 0{,}9$).

Forța de mișcare, F_m, se determină cu relația:

$$F_m = 270 \cdot \frac{N}{v} \cdot \eta_{tr} \qquad [kgf] = \frac{[CP]}{[km/h]}; \tag{12.2.13}$$

Condiția de mișcare se exprimă prin relațiile:

— la screpere autopropulsate $R \leqslant F_m \leqslant F_{ader}$ (12.2.14)

— la screpere remorcate $R + R_T \leqslant F_m \leqslant F_{ader}$ (12.2.15)

Numărul de screpere, n, care poate fi deservit la un singur tractor, se determină cu formula

$$n = \frac{T}{t_1 + \frac{l}{v} + 2t_0} \tag{12.2.16}$$

în care: T este durata unui ciclu de lucru a screperului; t_1 este timpul necesar pentru umplerea cupei screperului; l este lungimea cursei parcursă la întoarcerea tractorului în gol; v este viteza tractorului la întoarcerea în gol; t_0 este timpul de întoarcere al tractorului, cu 180°.

Stabilitatea screperelor se obține la îndeplinirea condiției:

$$\beta < \beta_{max} \tag{12.2.17}$$

unde β este unghiul de înclinare al axului roților dată de orizontală, iar β_{max} se calculează cu relația

$$\beta_{max} = \text{arc tg}\,\frac{B}{2H}, \tag{12.2.18}$$

în care B este ecartamentul-spate, iar H este înălțimea centrului de greutate față de sol, a screperului.

Problemele de calcul ale grederelor sînt similare cu cele întîlnite la screpere, cu mențiunea că rezistențele specifice și coeficienții utilizați la determinarea sarcinilor au alte valori, date de asemenea în tabele.

Scanned with OKEN Scanner

Productivităţile se calculează cu relaţiile

la screpere $$P_{expl} = \frac{3600}{t_c} \cdot \frac{q \cdot K_v}{K_a} \cdot K_t \qquad (12.2.19)$$

la gredere $$P_{expl} = \frac{3600}{t} \cdot b \cdot s \cdot l \cdot \frac{K_p}{K_a} \cdot K_t \qquad (12.2.20)$$

în care se întîlnesc următoarele notaţii: t_c este durata unui ciclu de lucru, în s; q este capacitatea cupei, în m³; $b = 0{,}3 - 0{,}4$ m, este lăţimea brazdei; $s = 0{,}3 - 0{,}45$ m, este adîncimea brazdei; l este lungimea stratului de profilat, în m; $K_v = 0{,}5 - 1{,}2$ este coeficientul de umplere al cupei $K_a = 1{,}1 - 1{,}5$ este coeficientul de afînare al terenului; $K_p = 0{,}60 - 0{,}95$ este coeficientul de pierderi de pămînt; $K_t = 0{,}8 - 0{,}95$ este coeficientul de utilizare în timp.

Factorii principali care influenţează productivitatea screperelor sînt: natura terenului; distanţa de transport şi capacitatea cupei, puterea motorului şi viteza de deplasare.

În cazul grederelor, productivitatea este influenţată de lungimea frontului de lucru, poziţia corectă a cuţitului, dimensiunile lamei, dimensiunile brazdei de tăiat, puterea motorului şi viteza de deplasare de lucru.

În general, s-a constatat că productivitatea screperelor variază între 6 — 50 m³/h, iar a grederelor între 250—500 m³/h.

12.2.3. **Maşini pentru compactat.** Pentru prevenirea unor deficienţe legate de afînarea terenului în timpul lucrărilor de săpare şi de transport a acestuia, pămîntul trebuie compactat. În acest scop se utilizează maşinile de compactat, care sînt: tăvălugii, cilindrii compresori şi compactoarele vibratoare.

a) Tăvălugii. Efectul de compactare al tăvălugilor se bazează pe principiul rulării, pămîntul fiind compactat sub acţiunea greutăţii rulourilor. În figura 12.2.12, sînt date schemele constructive ale tăvălugului neted şi ale

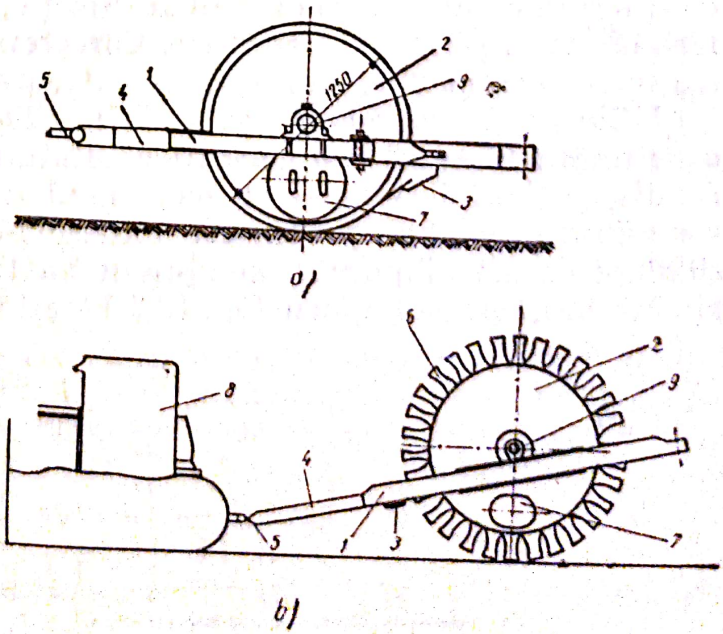


Fig. 12.2.12. Maşini pentru compactarea prin rulare — tăvălugii:
a — tăvălugul neted; *1* — cadru; *2* — rulou; *3* — pieptene de curăţire; *4* — oişte; *5* — inel de ataşare; *7* — capac; *9* — osia ruloului; *b* — tăvălugul picior de oaie; *6* — picior; *8* — tractor; celelalte notaţii sînt identice cu cele de la punctul *a*.

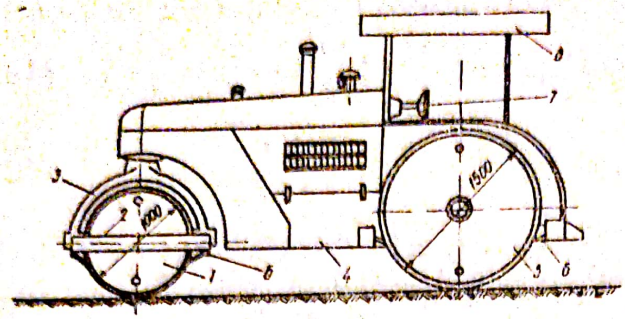


Fig. 12.2.13. Cilindru compresor cu rulouri netede, cu două osii:
1 — rulou de direcţie; *2* — cadru orizontal; *3* — furcă longitudinală *4* — cadru principal; *5* — rulouri motoare; *6* — răzuitoare; *7* — volan; *8* — apărătoare

tăvălugului picior de oaie tip *D*—220. Compactarea pămîntului cu tăvălugii picior de oaie, este mai uniformă, de calitate mai bună ca în cazul tăvălugilor netezi, datorită pătrunderii picioarelor în pămînt în timpul rostogolirii ruloului. În principiu, tăvălugii sînt constituiţi dintr-un rulou 2, pe osie 9 a acestuia fiind fixat cu cadru 1 care, la rîndul său, prin intermediul unei oişti 4 şi a unui inel 5, este ataşat de mijlocul de remorcare. Cadrul este prevăzut şi cu un pieptene de curăţire 3. Pentru mărirea greutăţii ruloului, acesta este umplut de obicei cu apă, prin capacul 7. În vederea măririi terenului compactat la o singură trecere, se recomandă cuplarea mai multor tăvălugi la acelaşi mijloc de remorcare.

b) Cilindrii compresori sînt maşini autopropulsate, destinate compactării prin rulare a fundaţiilor şi îmbrăcăminţilor rutiere. Construcţia lor este redată, în principiu (fig. 12.2.13). Echipamentul de lucru este format din trei rulouri. Ruloul de direcţie 1 este ataşat prin intermediul cadrului orizontal 2 şi a furcii longitudinale 3 de cadrul principal 4 al maşinii şi de volanul 7. Motorul de acţionare, transmite mişcarea rulourilor motoare 5. Toate cele trei rulouri sînt prevăzute cu răzuitoarele 6, pentru curăţire. Echipamentul de forţă îl constituie un motor cu ardere internă, de obicei Diesel. Transmisiile de la motor, la rulourile motoare, se fac prin cruce cardanică şi diferenţial, iar la ruloul de direcţie, de la volan, prin sistemul şurub fără sfîrşit şi pîrghiile directoare. Caracteristicile tehnice ale principalelor maşini de compactat, de acest tip sînt date în tabele.

c) Compactoarele vibratoare, au o răspîndire din ce în ce mai mare în construcţii, în cazul compactării pămînturilor slab adezive şi a asfaltului. La dispozitivul de vibrare cu şoc, ruloul vibrator este ataşat unui compresor vibrator, a cărui prezentare exterioară şi principiu de acţionare, sînt similare cu ale cilindrului compresor analizat anterior. Vibratorul pentru pîmînt, de greutate mijlocie (fig. 12.2.14) este constituit dintr-un motor 3 care,

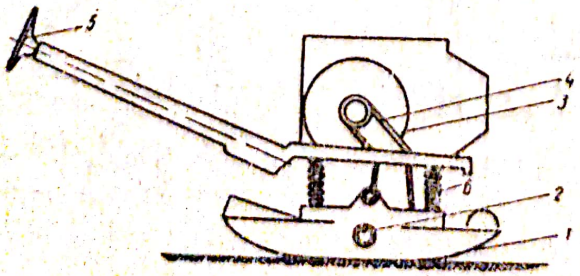


Fig. 12.2.14. Vibratorul pentru pămînt de greutate mijlocie:
1 — placă; *2* — element de vibrare; *3* — motor; *4* — transmisie cu curea; *5* — volan; *6* — resoarte de susţinere a blocului motor.

prin intermediul unei transmisii cu curea 4, transmite mişcarea elementului vibrator 2 şi plăcii vibratoare 1. Susţinerea echipamentului de forţă pe placa vibratoare se realizează cu ajutorul resoartelor 6. Volanul 5 serveşte la conducerea direcţională a utilajului.

În vederea compactării prin batere, se utilizează maiurile compactoare. Maiul poate fi ataşat unor macarale sau excavatoare, care îl menţine în poziţie verticală de-asupra terenului ce urmează a fi compactat. În cazul maiurilor de dimensiuni mici, acestea se manipulează de către oameni.

Problemele principale de calcul se referă, ca şi în cazurile anterioare, la aprecierea forţelor rezistente, a puterii necesare a motorului de acţionare, a numărului maxim de compactare remorcate simultan, a grosimii stratului compactat şi numărului necesar de treceri consecutive peste aceeaşi fîşie.

Forţele rezistente care intervin în acest caz sînt: rezistenţa de rulare, rezistenţa rampei, rezistenţa la pornire, rezistenţa curbei etc., determinarea lor făcîndu-se conform consideraţiilor expuse la paragraful 12.2.2. Puterea motorului se determină cu relaţia

$$N = \frac{(n\,R + R_T)\,v}{270 \cdot \eta_{tr}} \qquad [\mathrm{CP}] = \frac{[\mathrm{kg} \cdot \mathrm{f}] \cdot [\mathrm{km/h}]}{[1]} \tag{12.2.21}$$

în cazul compactoarelor remorcate, şi cu relaţia

$$N = \frac{R \cdot v}{270 \cdot \eta_{tr}} \tag{12.2.22}$$

în cazul celor autopropulsate. În aceste relaţii n, este numărul de compactare remorcate iar η_{tr} este randamentul transmisiilor tractorului ($\eta_{tr} = 0{,}70 - 0{,}90$). Celelalte notaţii au semnificaţiile date la paragraful 12.2.2.

Forţa de mişcare se determină cu relaţia (12.2.13), condiţiile de deplasare fiind în acest caz, exprimate de relaţiile:

$$nR + R_T \leqslant F_m \leqslant F_{ader} \text{ la compactoarele remorcate,} \tag{12.2.23}$$

$$R \leqslant F_m \leqslant F_{ader} \text{ la compactoarele autopropulsate} \tag{12.2.24}$$

Pentru ca rulourile să nu se afunde prea mult în pămînt, trebuie satisfăcută relaţia

$$\sqrt{\frac{pE_0}{v}} \leqslant \sigma_{lim} \tag{12.2.25}$$

în care: p este presiunea liniară pe sol a ruloului, în kgf/cm²; E_0 este modul de deformaţie al pămîntului (200 kgf/cm² la pămînturi compacte şi 125 kgf/cm² la pămînturi cu coeziune redusă); r este raza ruloului, în cm, σ_{lim} este rezistenţa limită la compactare în kgf/cm² şi se ia din tabele.

Numărul de treceri succesive este dat de relaţia

$$n = \left(\frac{\varepsilon}{K_i \cdot \varepsilon_1}\right)^3 \tag{12.2.26}$$

în care: ε este deformația plastică relativă la sfîrșitul compactării; K_t este coeficientul intensității de acumulare a deformației plastice; ε_1 este deformația plastică relativă după prima trecere. Acești coeficienți sînt dați în tabele și au diferite valori, în funcție de natura și starea terenului.

Productivitatea mașinilor de compactat se determină cu relațiile:

$$P_{expl} = \frac{1000(B-a)v \cdot h}{n} \cdot K_t \text{ la cilindrii compresori} \qquad (12.2.27)$$

$$P_{expl} = \frac{60 \cdot n_1(D-a)l}{n_2} \cdot K_t \text{ la maiurile vibratoare,} \qquad (12.2.28)$$

în care: B este lățimea fîșiei compactate la o trecere, în m; a este lățimea benzii de suprapunere la treceri consecutive, în m; v este viteza de lucru, în km/h; h este grosimea stratului compactat, în m; K_t este coeficientul de utilizare în timp a mașinii; n_1 este numărul de lovituri pe minut; D este diametrul plăcii bătătoare a maiului, în; l este avansul maiului la un salt, în m; n_2 este numărul de bătăi pe același loc; se menționează valorile: $a = 0{,}10 - 0{,}15$ la maiuri și $0{,}25 - 0{,}40$ la compresoare; $K_t = 0{,}75 - 0{,}85$; $n_2 = 3 - 8$;

Practic, s-a constatat că productivitățile mașinilor de compactat sînt cuprinse între limitele următoare: cilindrii compresori —200 — 1000 m²/h; maiuri mecanice — 35 — 150 m²/h; compactoare vibratoare cilindrice —100 — 600 m²/h;

Factorii principali care influențează productivitatea, sînt natura și starea terenului precum și greutatea mașinii de compactat. Se va urmări întotdeauna să se utilizeze o astfel de mașină de compactat încît să nu se depășească rezistența limită σ_{lim} a solului la compactare, în acest caz reducîndu-se simțitor productivitatea, prin afundarea excesivă a compactorului în teren.

12.3. MAȘINI PENTRU PREGĂTIREA AGREGATELOR ȘI PREPARAREA BETOANELOR

12.3.1. Generalități. Sub denumirea de *agregate* se înțelege totalitatea materialelor de natură minerală, provenite din depozite aluvionare sau prin sfărîmarea rocilor, care se folosesc ca balast sau la prepararea mortarelor și a betoanelor, necesare la lucrările de construcții. Cum însă aceste materiale, la extragerea lor din cariere, nu îndeplinesc, în cele mai multe cazuri, condițiile impuse de execuția lucrărilor de construcții, este necesară o prelucrare prealabilă a lor. Prelucrarea constă dintr-o sortare și o spălare a agregatelor, naturale, respectiv din concasarea, sortarea și spălarea agregatelor obținute pe cale artificială din roci dure.

Prelucrarea acestor agregate se realizează folosind mașini de construcții, foarte diferite din punct de vedere constructiv și funcțional, principalele tipuri fiind prezentat în figura 12.3.1 și în tabela 12.3.1, din care de altfel rezultă și domeniile lor de aplicare.

Scanned with OKEN Scanner

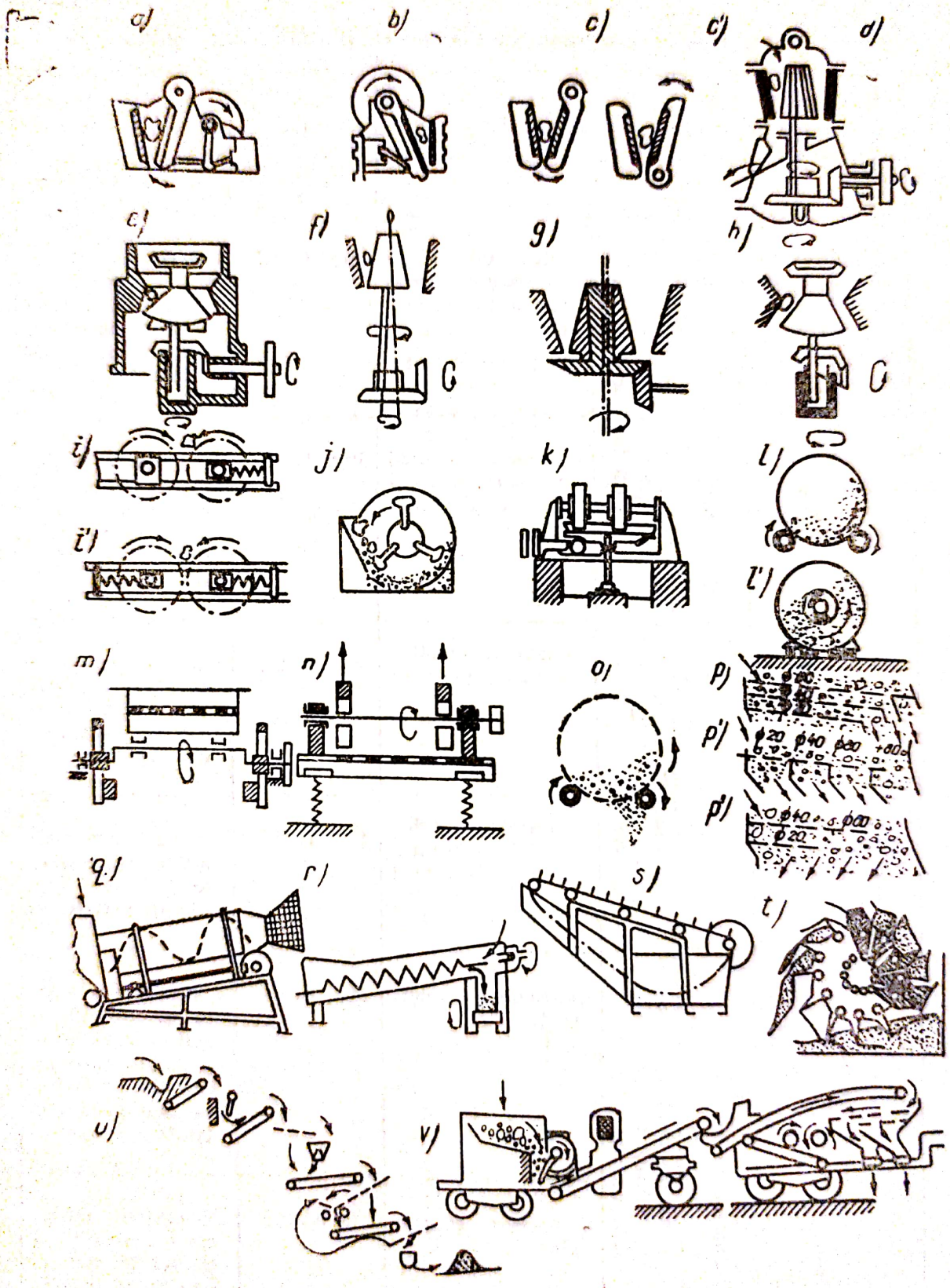


Fig. 12.3.1. Mașini pentru pregătirea agregatelor.

Tabela 12.3.1.

Maşini pentru pregătirea agregatelor. Clasificarea şi domeniul de utilizare

Criteriul clasificării	Denumirea grupei	Criteriul subclasificării	Denumirea maşinii			Schema	Domeniul de utilizare
1	2	3	4			5	6
După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Maşini de concasat	După construcţia organului de lucru	Concasoare cu fălci	După caracterul mişcării fălcii mobile	Concasoare cu fălci, cu oscilaţie simplă a fălcii mobile	Fig. 12.3.1 *a*	Concasarea grosieră a pietrei, în cazul rocilor dure (cînd nu se cere o productivitate superioară)
					Concasoare cu fălci, cu oscilaţie complexă a fălcii mobile	Fig. 12.3.1 *b*	Concasarea mijlocie şi măruntă a rocilor dure (cînd nu se cere o productivitate superioară)
				După poziţia axei de suspensie a fălcii mobile	Concasoare cu fălci, cu axă superioară	Fig. 12.3.1 *c*	Concasarea materialelor caracterizate printr-o descărcare mai dificilă din concasor
					Concasoare cu fălci, cu axă inferioară	Fig. 12.3.1 *c'*	Concasarea materialelor caracterizate printr-o descărcare mai uşoară
			Concasoare cu conuri	După tipul conului interior	Concasoare cu con înalt	Fig. 12.3.1 *d*	Concasarea grosieră şi mijlocie a pietrei, în carierele şi staţiile mari de concasare, care necesită o productivitate ridicată
					Concasoare cu con plat	Fig. 12.3.1 *e*	Concasarea mijlocie şi măruntă a pietrei în staţiile fixe, cu productivitate mare

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.3.1 (continuare)

1	2	3	4			5	6
După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Maşini de concasat	După construcţia organului de lucru	Concasoare cu conuri	După modul de acţionare al conului interior	Concasoare cu arbore pendular pe o suprafaţă conică	Fig. 12.3.1 *f*	Concasarea grosieră şi mijlocie. Au înălţime mare. Necesită clădiri şi utilaje auxiliare
					Concasoare cu arbore fix	Fig. 12.3.1 *g*	Concasarea grosieră şi mijlocie. Au înălţime de construcţie mai mică
					Concasoare cu arbore pendular în consolă	Fig. 12.3.1 *h*	Concasarea mijlocie şi măruntă. Au o încărcare uniformă a gurii de intrare
			Concasoare cu valţuri		Concasoare cu un singur valţ deplasabil	Fig. 12.3.1 *i*	Idem, cu grad ridicat de concasare
			Concasoare cu percuţie	După natura percutorului	Concasoare cu ciocane (cu 1 sau 2 rotori)	Fig. 12.3.1 *j*	Concasarea mijlocie şi măruntă a materialelor fragile (grad de concasare ridicat: 40)
			Mori	După sistemul constructiv	Mori alergătoare (colerganguri) cu taler fix sau mobile	Fig. 12.3.1 *k*	Mărunţirea materialelor pietroase, pregătirea maselor argiloase, amestecarea materialelor
					Mori cu bile	Fig. 12.3.1 *l*	Măcinarea foarte fină a materialelor de diverse durităţi (calcar, clincher, cărbune, şamotă etc), după procedeul umed sau uscat
					Mori vibratoare	Fig. 12.3.1 *l''*	Măcinarea fină a varului, zgurei, nisipului etc. Măcinarea extrafină a agregatelor

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.3.1 (continuare)

1	2	3	4				5	6
După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Maşini de sortat (ciururi)	După forma şi mobilitatea sitelor	Ciururi cu site fixe	Ciururi cu bare, sîrmă împletită sau tablă perforată			—	Cernerea materialelor
			Ciururi cu site mobile	După sistemul constructiv şi particularităţile schemei cinematice (modul de funcţionare)	Ciururi plane oscilante (cu mecanism excentric sau arbore cotit), rezemate sau suspendate	Cu oscilaţii circulare în planul vertical	Fig. 12.3.1 *m*	Sortarea pietrişului şi a pietrei sparte, uscate sau cu umiditate naturală, de dimensiuni mici şi mijlocii, pe 3...4 sorturi. Sînt foarte răspîndite
						Cu oscilaţii rectilinii	—	Idem, pentru agregate cu dimensiuni mai mari
					Ciururi plane vibratoare (cu oscilaţie lib).	Inerţionale cu 1 sau 2 axe	Fig. 12.3.1 *n*	Sortarea şi spălarea simultană a agregatelor pe fracţiuni. Dau o ciuruire de calitate (= 0,9... 0,98) şi o productivitate superioară
						Electromagnetice	—	Sortarea agregatelor
						Pneumatice	—	Idem
					Ciururi cilindrice rotative	Cu role de antrenare	Fig. 12.3.1	Sortarea şi spălarea pietrişului şi pietrei sparte, în special la etajele superioare ale clădirilor (au mers liniştit) şi în instalaţiile mobile. Au coeficient de calitate scăzut (=0,6)
						Cu ax central	—	
					Ciururi tronconice		—	Sortarea agregatelor

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.3.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6
După particularitățile procesului tehnologic îndeplinit	Mașini de sortat (ciururi)	După poziția relativă a sitelor	Ciururi cu site așezate în plane paralele	Fig. 12.3.1 *p*	Obținerea diferitelor fracțiuni de agregate
			Ciururi cu site coplanare	Fig. 12.3.1 *p'*	Idem
			Ciururi cu site așezate după sistemul combinat	Fig. 12.3.1 *p''*	Idem. Sînt cele mai răspîndite
		După poz. suprafețelor de lucru	Ciururi cu site oblice	—	La majoritatea lucrărilor de sortare
			Ciururi cu site orizontale	—	Vezi „Ciururi vibratoare"

12.3.2. **Mașini de sfărîmat.** *a) Concasoarele* servesc la mărunțirea materialului necesar pentru prepararea betoanelor, în vederea obținerii dimensiunilor optime de folosire în lucrările de construcții.

În figura 12.3.2 sînt prezentate principalele metode de mărunțire mecanică. În mod obișnuit, la cele mai multe mașini, sfărîmarea rocilor se realizează folosind două sau chiar mai multe metode, simultan.

După principiul constructiv, concasoarele pot fi cu fălci, cu valțuri și cu ciocane (fig. 12.3.3).

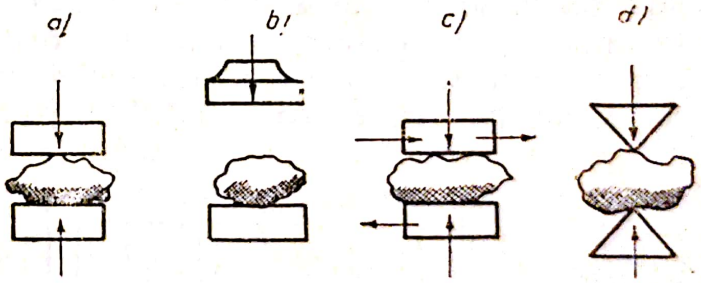


Fig. 12.3.2. Metodele de mărunțire mecanică.

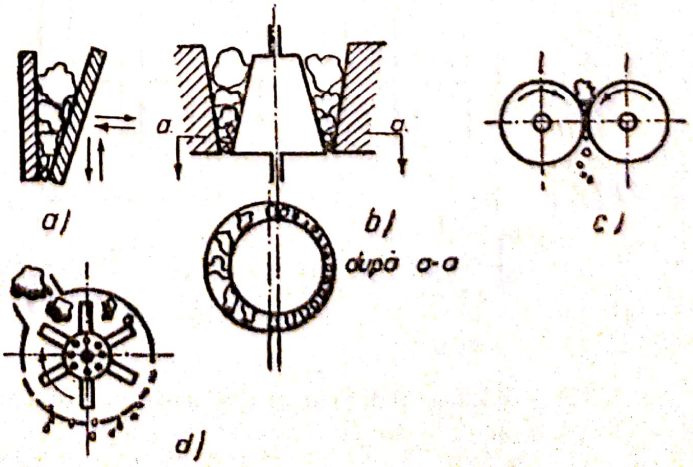


Fig. 12.3.3. Tipurile principale de mașini pentru sfărîmarea pietrei:
a — concasor cu fălci; *b* — concasor cu con; *c* — concasor cu valțuri; *d* — concasor cu ciocane.

Principalele dimensiuni caracteristice ale concasoarelor cu fălci sînt lungimea *a* şi lăţimea *b* a gurii de încărcare, în funcţie de care, se poate face clasificarea acestora.

Dimensiunea pietrei care se încarcă în concasor, nu va depăşi 0,85 din lăţimea gurii pentru concasoarele cu oscilaţie simplă a fălcii mobile fig. 12.3.1 a şi 0,9 la concasoarele cu oscilaţie, compusă fig. 12.3.1. b Conscasoarele cu oscilaţie compusă a fălcii mobile sînt mai simple decît alte tipuri de concasoare şi pe lîngă aceasta, au o greutate de două ori mai mică decît concasoarele cu oscilaţie simplă, de aceeaşi productivitate. Echipamentul de lucru al concasorului cu falcă mobilă cu oscilaţie, constă din motorul de antrenare, reductorul de turaţie şi sistemul bielă-manivelă, care prin intermediul arborelui excentric transmite mişcarea alternativă fălcii mobile, executînd astfel sfărîmarea materialului.

În cazul concasorului cu oscilaţie compusă, falca mobilă, simultan cu apropierea ei de falca fixă, execută şi o mişcare de translaţie de sus în jos, ajutînd astfel la înaintarea şi sfărîmarea pietrei.

Plăcile de uzură (fig. 12.3.4 *a*) cu care se căptuşesc fălcile concasorului, suportă eforturi la compresiune foarte mari. Datorită frecării materialului concasat de suprafeţele lor, ele trebuie schimbate destul de des. Striaţiunile au secţiunea triunghiulară (fig. 12.3.4. *b*) şi sînt dirijate după verticală, dispunerea lor pe suprafaţa unei plăci fiind astfel făcută, încît vîrfurile lor să corespundă adînciturilor de pe placa opusă (fig. 12.3.4. *b*), ceea ce asigură ruperea pietrelor mai lungi prin încovoiere. Plăcile de uzură sînt realizate din oţel magnanos, cu (12 — 14%) Mn, sau din fontă albă. Plăcile de distanţare (fig. 12.3.4. c), care asigură posibilitatea oscilaţiei fălcii mobile, preiau eforturile rezultate din concasare şi de cele mai multe ori, tot ele sînt cele ce asigură posibilitatea reglării concasorului. Totodată, fiind primele piese care se rup la o supraîncărcare a concasorului, poartă denumirea de „siguranţe" ale concasorului. Turaţia arborelui excentric la concasoarele

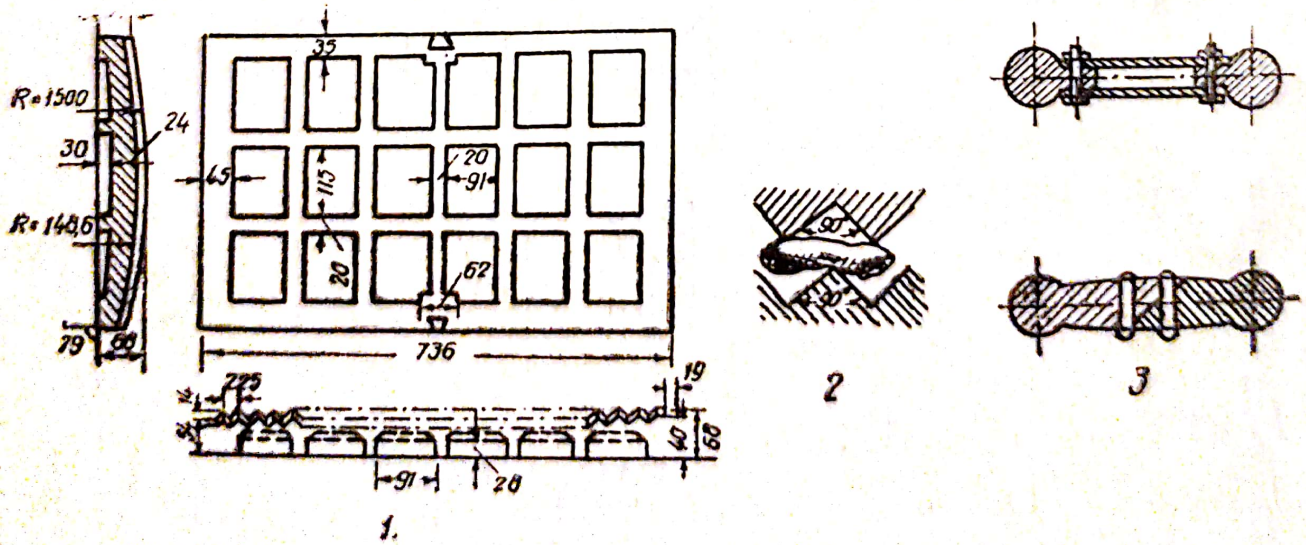


Fig. 12.3.4. Plăci de uzură şi de distanţare folosite la cnocasoarele la fălci:
1 — placa de uzură; *2* — amplasarea striaţiilor la plăcile de uzură; *3* — plăci de distanţare din mai multe bucăţi; *a* — cu plăci; *b* — cu nituri de forfecare.

cu fălci, determinată din condiţia ca în timpul retragerii fălcii mobile să poată cădea din concasor materialul cu dimensiunea mai mică decît dimensiunea gurii de ieşire, este dată de relaţia

$$n = 60 \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \alpha}{S}} \qquad (12.3.1)$$

în care: α este unghiul dintre fălci; S este cursa, exprimată în metri. Productivitatea concasoarelor cu fălci, este dată de relaţia:

$$Q = 60\, K_a \cdot V \cdot n = \frac{30\, K_a \cdot n(2e + S) \cdot S_b}{\operatorname{tg} \alpha} \quad [\mathrm{m^3/h}] \qquad (12.3.2)$$

în care: K_a este coeficientul de afînare al materialului, care ţine seama de golurile existente între bucăţile de piatră, depinzînd de gradul de mărunţire al pietrei înainte de introducerea ei în concasor; V — volumul între fălci al concasorului dat de relaţia $\frac{2e + S}{\operatorname{tg} \alpha}$, în care e, S, S_b sînt înălţimea, lăţimea gurii de încărcare şi respectiv a gurii de ieşire a concasorului; n — turaţia arborelui excentric.

Puterea necesară pentru acţionare depinde de proprietăţile mecanice şi dimensiunile materialului de concasat, formulele de calcul în diferitele ipoteze fiind date în tabele în normative.

Concasoarele cu valţuri (fig. 12.3.1 *i*, *i'*) pot fi de tipul cu ambele valţuri mobile, cu un valţ fix şi unul mobil sau cu ambele valţuri fixe.

La primele două tipuri, distanţa dintre valţuri poate fi reglată cu ajutorul resoartelor, care preiau, de altfel, şi şocurile care iau naştere la introducerea materialului de concasat între valţuri. Echipamentul de lucru al concasoarelor cu valţuri constă din motorul electric, sistemul de antrenare al valţurilor, compus din curea şi roţi dinţate şi valţurile pentru sfărîmarea rocilor. În figura 12.3.1 j este prezentat concasorul cu ciocane, avînd principiul de funcţionare similar cu al concasoarelor cu valţuri, folosit pentru zdrobirea materialelor fragile sau a unor materiale cu rezistenţă mecanică redusă cum ar fi, calcarul, marna, feldspatul, ardezia, cărămida spartă, etc. Productivitatea concasoarelor cu ciocane reiese din relaţia:

$$Q = (30-45)\, DL \quad [\mathrm{m^3/h}] \qquad (12.3.3)$$

în care: D este diametrul exterior al ciocanelor, L — lungimea rotorului [m].

b) Morile se utilizează pentru sfărîmarea materialelor de dimensiuni mai reduse decît cele ce se introduc în concasoare. Din punct de vedere constructiv, morile pot fi vibratoare, cu valţuri alergătoare (moara chiliană) şi cu bile.

Moara vibratoare este prezentată în figura 12.3.5, frecvenţa vibraţiilor fiind cuprinsă între (1500—3000) vib/min, iar capacitatea corpului cilindric fiind de aproximativ 500 *l*.

Echipamentul de lucru se compune din motorul de antrenare 6, cupla de legătură 5 şi toba 1 a morii, susţinută de arcurile 4 de vibraţie. În cazul

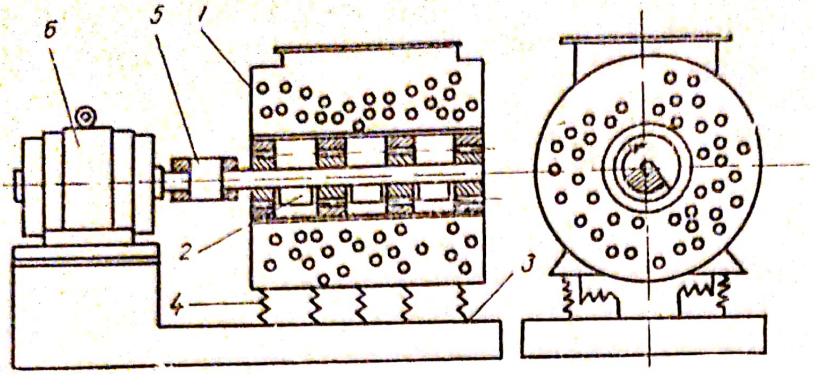


Fig. 12.3.5. Moară vibratoare: *1* — corp; *2* — vibrator cu excentrice; *3* — batiu; *4* — arcuri; *5* — cuplaj elastic; *6* — motor electric.

morii chiliene materialul încărcat în taler este amestecat și dirijat de cuțite, sub role, care îl strivesc și îl omogenizează, datorită mișcării de rotație pe care o efectuează prin rotirea arborelui motor de către motorul de antrenare.

Moara cu bile (fig. 12.3.1. 1), este utilizată mai mult pentru sfărîmarea materialelor avînd o rezistență mecanică redusă, sfărîmarea materialului fiind realizată prin ciocnirea acestuia cu bile metalice.

12.3.3. **Mașini pentru sortarea materialelor.** În construcții, pentru separarea diferitelor fracțiuni din materialul rezultat în urma concasării pietrișului se utilizează, aproape exclusiv, metode de separare mecanică, cu ajutorul ciururilor. Acestea pot fi cu o singură sită sau cu mai multe, în acest din urmă caz fiecare sită avînd alte dimensiuni ale ochiurilor.

Se poate defini coeficientul de calitate al cernerii, dat de relația

$$\varepsilon = \frac{d}{a} = \frac{a-c}{a} = 1 - \frac{c}{a} \qquad (12.3.4)$$

în care: a este greutatea fracțiunii inferioare; d — greutatea materialului ce a trecut prin sită; c — greutatea părții din fracțiunea inferioară care n-a trecut prin sită.

Diferitele sisteme de realizarea sitelor, sînt prezentate în figura 12.3.6, utilizarea barelor pentru construcția grătarelor, sau numai a tablei perforate, fiind funcție de condițiile de exploatare a ciurului respectiv și de materialul care urmează a fi sortat.

Din punct de vedere constructiv, ciururile pot fi cilindrice, avînd $\varepsilon = 0{,}6$; plane vibratoare, cu $\varepsilon = 0{,}9 - 0{,}98$; plane cu excentric, avînd $\varepsilon = 0{,}9 - 0{,}8$.

Productivitatea ciururilor cilindrice se determină cu relația:

$$Q = 3600 \cdot v_0 \cdot F \cdot K_a \qquad (12.3.5)$$

în care: v_0 este viteza de înaintare a pietrei în lungul tobei, în [m/s]; F — suprafața secțiunii materialului în tobă în [m²]; k_a — este coeficientul de afînare al materialului egal cu (0,6 — 0,8; vitezele sînt date de relațiile:

$$v_0 = v \cdot \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{\pi \cdot R \cdot u}{30} \cdot \operatorname{tg} 2\alpha \quad \text{și} \quad v = \sqrt{\frac{\sin(\beta - \varphi) + gR}{\sin \varphi}};$$

unde R este raza cilindrului și α este unghiul

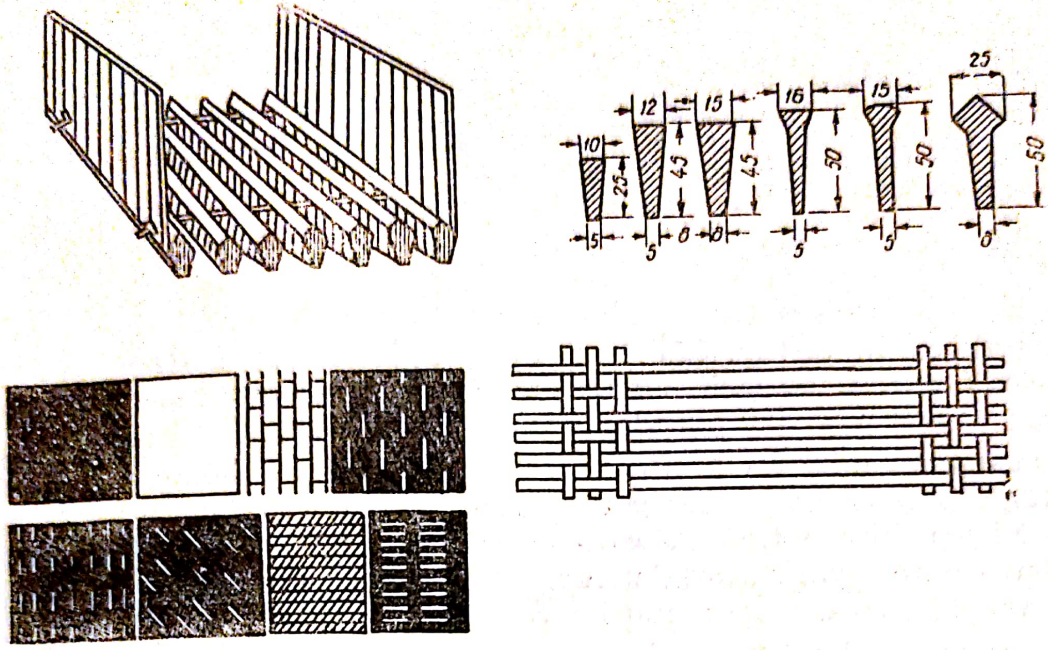


Fig. 12.3.6. Sisteme de grătare și site utilizate la ciururi:
a — grătar pentru sortarea pietrei; *b* — secțiuni ale barelor de grătar; *c* — tipuri de site din tablă perforată; d — site din sîrmă împletită.

$\mu = \operatorname{tg} \varphi$ — coeficientul de frecare la alunecare între piatră și sită; g — accelerația gravitațională, în [m/s²]; R — raza tobei, în [mm]; turația este dată de relația:

$$n = \frac{30\,v}{\pi \cdot R} \left(\text{se recomandă } \frac{8}{\sqrt{R}} < u < \frac{14}{\sqrt{R}}\right);$$

suprafața F este dată de relația

$$F \cong \frac{2}{3}\, a \cdot h \cong \frac{2}{3}\, h \sqrt{R^2 - (R - h^2)}.$$

Neglijînd sub radical pe h, se obține

$$F \cong 1{,}9 \cdot \sqrt{Rh^3} \qquad (12.3.6)$$

deci

$$Q \cong 720 \cdot K_a \cdot n \cdot \operatorname{tg} 2\alpha \cdot \sqrt{R^3 h^3} \qquad (12.3.7)$$

În figura 12.3.7 este dată schema unui ciur cilindric rotativ cu mai mulți cilindri, sortarea pietrei făcîndu-se pe porțiuni, în funcție de dimensiunile acesteia.

Scanned with OKEN Scanner

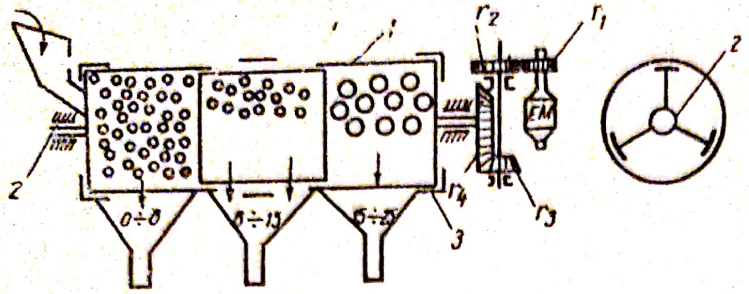


Fig. 12.3.7. Ciur cilindric rotativ.

Ciururile oscilante (fig. 12.3.1 m) sînt folosite pentru sortarea pietrei de dimensiuni mici şi mijlocii. Oscilaţiile ciurului sînt produse de un sistem bielă-manivelă, care dă ciurului o mişcare alternativă.

Amplitudinea mică a vibraţiilor de o frecvenţă ridicată în cazul ciururilor vibratoare (fig. 12.3.8), produce o puternică amestecare şi scuturare a materialului de pe site, obţinîndu-se o sortare de calitate bună. Vibraţia ciurului se datorează arcurilor Z, forţelor centrifuge ce apar prin antrenarea discului de volant 1, şi a contragreutăţilor 3 şi 3′, de către motorul EM.

Puterea necesară pentru acţionarea ciururilor se poate determina pe baza formulelor de calcul din tabele.

Greutatea contragreutăţilor folosite se determină cu relaţiile

$$G_c = \frac{G_0 A}{r} \qquad [\text{kgf}] \qquad (12.3.8)$$

în care: G_0 este greutatea totală a părţii oscilante a ciurului (kgf); A — amplitudinea oscilaţiilor (m); r_e — raza de rotaţie a centrului de greutate al maselor excentrice (m).

Amplitudinea optimă a vibraţiilor A, la ciururile vibratoare, se alege în funcţie de dimensiunile ochiurilor sitelor, din tabele.

La ciururile oscilante, valorile A sînt cu (200 — 300 %) mai mari decît valorile optime ale ciururilor vibratoare.

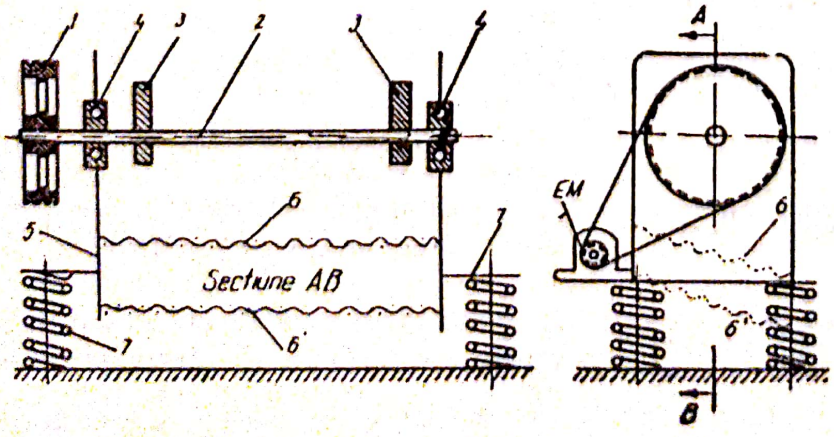


Fig. 12.3.8. Ciur plan vibrator: *a* — vedere laterală; *b* — vedere frontală.

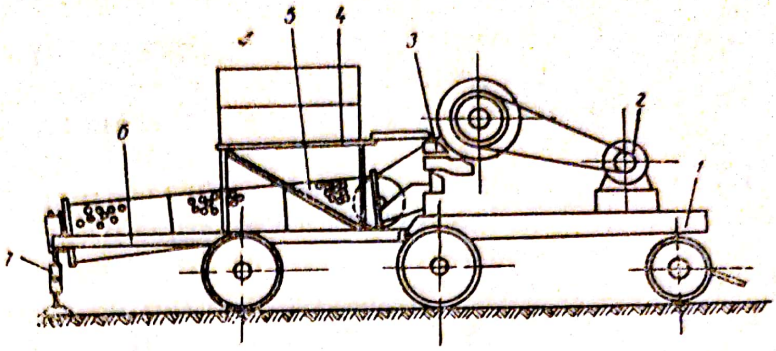


Fig. 12.3.9. Grupul mobil concasor — ciur „*U. M. Progresul*" — Brăila:

1 — cadru; *2* — motor; *3* — concasor; *4* — podeţ de alimentare; *5* — ciur; *6* — cadrul ciurului; *7* — dispozitiv de ridicare.

12.3.4. **Instalaţii mobile pentru concasare şi sortare.** Instalaţiile mobile sînt necesare în cazul construirii şoselelor, căilor ferate şi a altor construcţii ce se întind pe suprafeţe mari, în aceste cazuri devenind eficientă aprovizionarea cu agregate minerale şi prepararea lor pe şantier.

În fig. 12.3.9 este prezentată una din principalele instalaţii mobile pentru concasat şi sortat agregatele, fabricate în ţară. Ele prezintă avantajul că, imediat după terminarea lucrului, pot fi transportate în altă parte, unde sînt necesare. Productivitatea lor variază între (4—8) m^3/h de agregat prelucrat. Grupul mobil concasor—ciur, este pus în mişcare de motorul comun 2, alimentarea concasorului făcîndu-se de pe podeţul de alimentare 4. În cazul grupurilor *SM* 8 şi SM 9, primul grup are rolul de concasare primară, pînă la dimensiunea de 340 mm, sub care dimensiune, piatra este adusă pe benzile transportoare ale grupului *SM* 9 unde este concasată mai departe pînă la dimensiuni maxime de 30 mm (fig. 12.3.1. v) Această selectivizare în concasare primară şi secundară, asigură o calitate superioară produsului concasat şi totodată, o productivitate sporită cu aproximativ 25—30%.

12.3.5. **Maşini pentru spălarea şi uscarea agregatelor.** Nisipul şi pietrişul obţinut direct din cariere este de obicei amestecat şi cu alte materiale (argile, pămînt), astfel că nu poate fi folosit direct pentru mortare sau betoane, necesitînd o spălare prealabilă. Spălarea se realizează fie cu ciururi obişnuite sub un curent de apă, operaţiunea decurgînd manual, fie cu ajutorul maşinilor de spălare, care din punct de vedere constructiv sînt de mai multe tipuri: spălător cilindric rotativ (fig. 12.3.1 q); spălător cu spirală metalică (fig. 12.3.1. r); spălător cu palete (fig. 12.3.1.s).

În cazul spălătorului cilindric rotativ, spălarea se produce datorită mişcării de rotaţie a tamburului şi a paletei elicoidale, în timp ce la instalaţia cu spirală metalică, spălarea se produce datorită frămîntării şi ridicării agregatului de către melc. La spălătorul cu palete, spălarea se produce prin agitarea hidromasei de către paletele instalaţiei. La instalaţia de uscare cu rotor (fig. 12.3.1 t), uscarea agregatului se datoreşte vînturării nisipului prin mişcarea rotorului şi curentului de aer dat de pompa de vid ataşată conductelor.

Scanned with OKEN Scanner

12.4. MAŞINI PENTRU PREPARAREA, TRANSPORTUL ŞI PUNEREA ÎN OPERĂ A AMESTECURILOR DE BETON ŞI MORTAR. INSTALAŢII ŞI UTILAJ PENTRU STINGEREA VARULUI

12.4.1. Betonierele şi malaxoarele pentru mortar. Lucrările de betoane şi mortare ocupă un loc important şi reprezintă un volum mare de muncă la realizarea unei construcţii. Mecanizarea acestor lucrări a permis mărirea eficienţei productive şi reducerea preţului de cost al lucrării.

În tabela 12.4.1 şi în schemele corespunzătoare din figura 12.4.1 se dă clasificarea, conform particularităţilor procesului tehnologic îndeplinit şi domeniul de utilizare, pentru betoniere, iar în tabela 12.4.2 şi fig.12.4.2, pentru malaxoarele de mortar. În principiu, atît betonierele cît şi malaxoarele sînt alcătuite dintr-un buncăr, o tobă sau cuvă şi mecanismele aferente de acţionare, dozare şi preparare pe cale mecanică a betoanelor şi mortarelor.

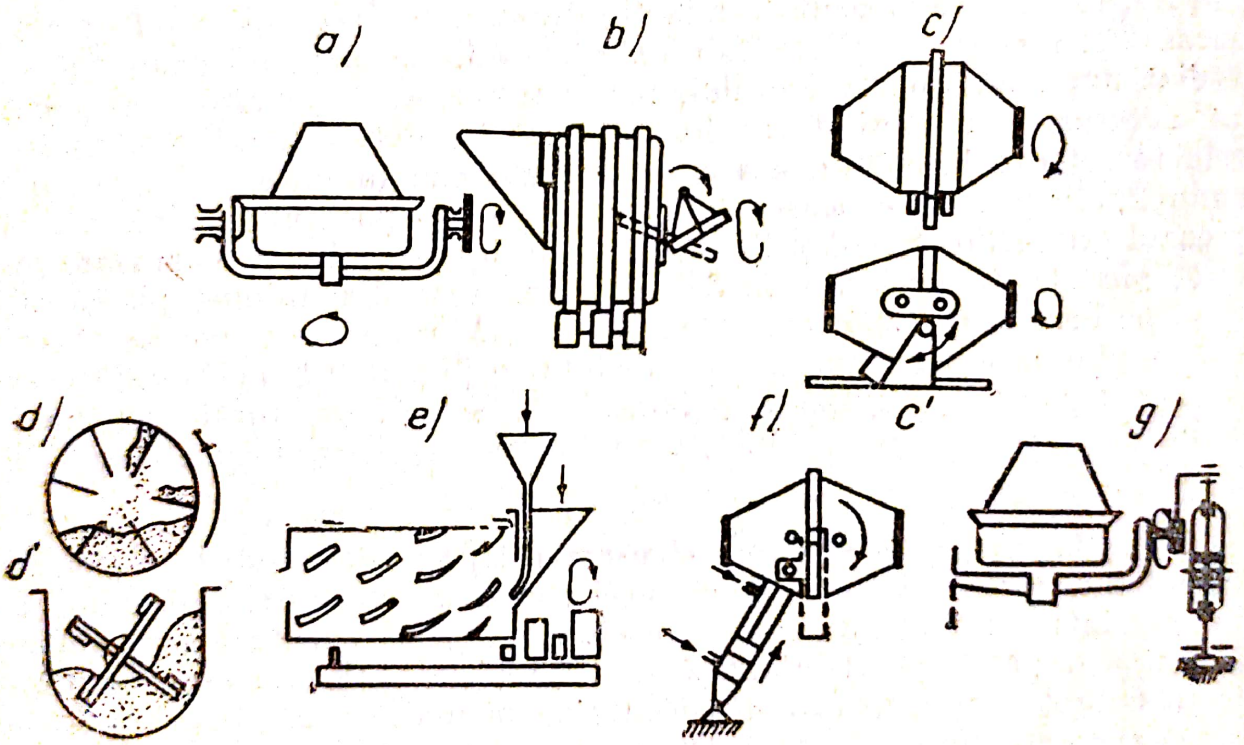


Fig. 12.4.1.*a,b,c,d,e,f,g* — Maşini pentru formarea amestecurilor. Betonierele.

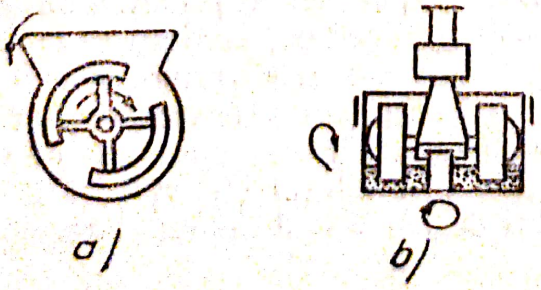


Fig. 12.4.2. *a,b* — Maşini pentru formarea amestecurilor. Malaxoarele.

Maşini pentru pregătirea amestecurilor. Betonierele. Clasificarea şi domeniul de utilizare

Tabela 12.4.1.

Criteriul de clasificare	Denumirea maşinii	Schema	Domeniul de utilizare
După construcţia organului de lucru şi particularităţile schemei cinematice.	Betoniere cu tobă tronconică basculantă (capacitate pînă la 450 litri).	Fig. 12.4.1*a*	Prepararea betoanelor de ciment prin cădere liberă. Indicate la lucrări mici.
	Betoniere cilindrice cu axa tobei orizontală. (capacitate sub 200 litri).	Fig. 12.4.1*b*	Prepararea betoanelor de ciment prin cădere liberă. Indicate la lucrări mai mari.
	Betoniere cu tobă bitronconică cu inversarea sensului de rotaţie la descărcare (250—450 litri)	Fig. 12.4.1*c*	Prepararea betoanelor de ciment prin cădere liberă. Indicate la lucrări mici şi amestec rapid.
	Betoniere cu tobă bitronconică oscilantă; (425—4500) litri.	Fig. 12.4.1*c*	Prepararea betoanelor de ciment de foarte bună calitate, la lucrări mari.
După modul de amestecare	Betoniere cu amestecare prin cădere liberă	Fig. 12.4.1*d*	Prepararea betoanelor.
	Betoniere cu amestec forţat (cu unul sau doi arbori).	Fig. 12.4.1*d'*	Fabricarea betoanelor de foarte bună calitate, cu conţinut redus de apă.
După regimul de funcţionare	Betoniere cu acţiune periodică	Fig. 12.4.1 *a, b, c*	Prepararea betoanelor necesitînd o dozare şi omogenizare foarte bune.
	Betoniere cu acţiune continuă	Fig. 12.4.1 *e*	Prepararea continuă a betoanelor, în cantităţi mari şi aceeaşi compoziţie.
După sistemul de comandă al mecanismului de descărcare	Betoniere mecanice	Fig. 12.4.1 *a, b, c*	La lucrări cu volum mic şi mijlociu
	Betoniere hidraulice	Fig. 12.4.1 *f*	La lucrări cu volum mare
	Betoniere pneumatice sau electropneumatice	Fig. 12.4.1 *g*	La lucrări cu volum mare
După gradul de mobilitate	Betoniere mobile (capacitate sub 1000 l)	—	Prepararea betoanelor pe şantiere
	Betoniere staţionare capacit. (425 — 4500)	—	Prepararea betoanelor în instalaţii cu durată lungă de exploatare
După particularităţile sistemului de rulare	Betoniere pe roţi	—	Prepararea betoanelor pe şantier.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.4.2

Maşini pentru pregătirea amestecurilor. Malaxoarele. Clasificarea şi domeniul de utilizare

Criteriul de clasificare	Denumirea maşinii	Schema	Domeniul de utilizare
după construcţia cuvei de malaxare.	Malaxoarele cu cuvă basculantă	Fig. 12.4.2 *a*	Prepararea mortarelor
	Malaxoare cu cuvă fixă, cu axa orizontală	—	Prepararea mortarelor
	Malaxoare cu cuvă fixă, cu axa verticală	Fig. 12.4.2 *b*	Prepararea mortarelor. Contraindicate la prepararea mortarelor virtoase.
după construcţia dispozitivului de malaxare	Malaxoare cu palete	Fig. 12.4.2 *a*	Prepararea mortarelor fluide şi vîscoase.
	Malaxoare cu valţuri alergătoare	Fig. 12.4.2 *b*	Prepararea mortarelor.
după regimul de funcţionare.	Malaxoare cu acţiune periodică	—	Prepararea mortarelor pe şantiere.
	Malaxoare cu acţiune continuă	—	Prepararea mortarelor în centrale de mortar
după gradul de mobilitate	Malaxoare mobile	—	Prepararea mortarelor pe şantiere.
	Malaxoare staţionare	—	Prepararea mortarelor în centrala de mortare

a) Dozatoarele. În tabela 12.4.3 şi schemele corespunzătoare din figura 12.4.3 este dată clasificarea şi domeniul de utilizare, după particularităţile procesului tehnologic, ale dozatoarelor. Dozarea materialelor determină direct compoziţia şi deci calitatea betoanelor. Metodele de dozare sînt următoarele: dozarea după volum, mai puţin exactă, datorită variaţiei puternice a volumului unor materiale în funcţie de gradul de compactare şi umiditate; dozarea după greutate care dă o calitate superioară măsurătorilor.

Organul de dozare al dozatorului gravimetric pentru agregate (fig. 12.4.4) este alcătuit din buncărul de agregate 1, suspendat pe dispozitivul de cîntărire (pîrghiile 2 ... 15), greutatea proprie a pîrghiilor, fiind echilibrată de contragreutăţile montate pe pîrghiile 4 şi 8. Greutatea agregatului din buncăr este indicată de poziţia greutăţilor mobile 11 şi 12 de pe barele 12 şi 14. Cuplarea buncărului la una din aceste bare gradate, se face cu ajutorul pîrghiei 15, iar scoaterea din funcţiune se realizează prin intermediul

Tabela 12.4.3

Maşini pentru pregătirea amestecurilor. Dozatoarele. Clasificarea şi domeniul de utilizare

Criteriul de clasificare	Denumirea maşinii		Schema	Domeniul de utilizare
După regimul de dozare	Dozatoarele volumetrice		Fig. 12.4.3 *a*	Dozarea agregatelor la lucrări mici
	Dozatoarele gravimetrice		Fig. 12.4.3 *b, c, d*	Dozarea agregatelor, a cimentului, a apei, etc., în instalaţiile staţionare mari
După natura elementelor componente ale betoanelor	Dozatoare pentru ciment		Fig. 12.4.3 *b*	Dozarea cimentului necesar în compoziţia betoanelor
	Dozatoare pentru agregate		Fig. 12.4.3 *c*	Dozarea agregatelor
	Dozatoare pentru apă		Fig. 12.4.3 *d*	Dozarea apei necesare pentru prepararea amestecurilor
După regimul de funcţionare	Dozatoare cu acţiune periodică		Fig. 12.4.3 *b, c, d*	Dozarea elementelor componente ale betoanelor şi mortarelor
	Dozatoare cu acţiune continuă		Fig. 12.4.3 *e*	Dozarea agregatelor şi cimentului la instalaţiile cu acţiune continuă
După sistemul de comandă	Dozatoare manuale		—	La lucrări mici
	Dozatoare semiautomate	Cu comandă locală	—	La fabricile de betoane mecanizate
		Cu telecomandă	—	Dozarea de la distanţă
	Dozatoare automate	Electronice şi fotoelectrice	—	La fabricile de betoane automatizate
		Pe bază de radioactivitate	—	Idem

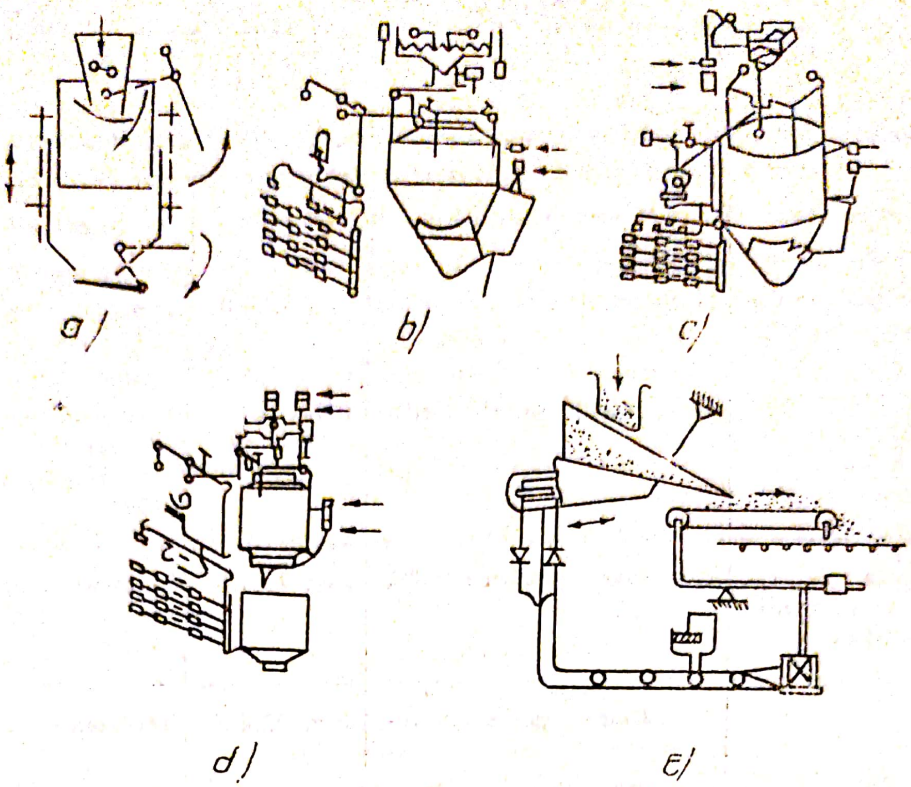


Fig. 12.4.3. *a,b,c,d,e* — Mașini pentru formarea amestecurilor. Dozatoarele.

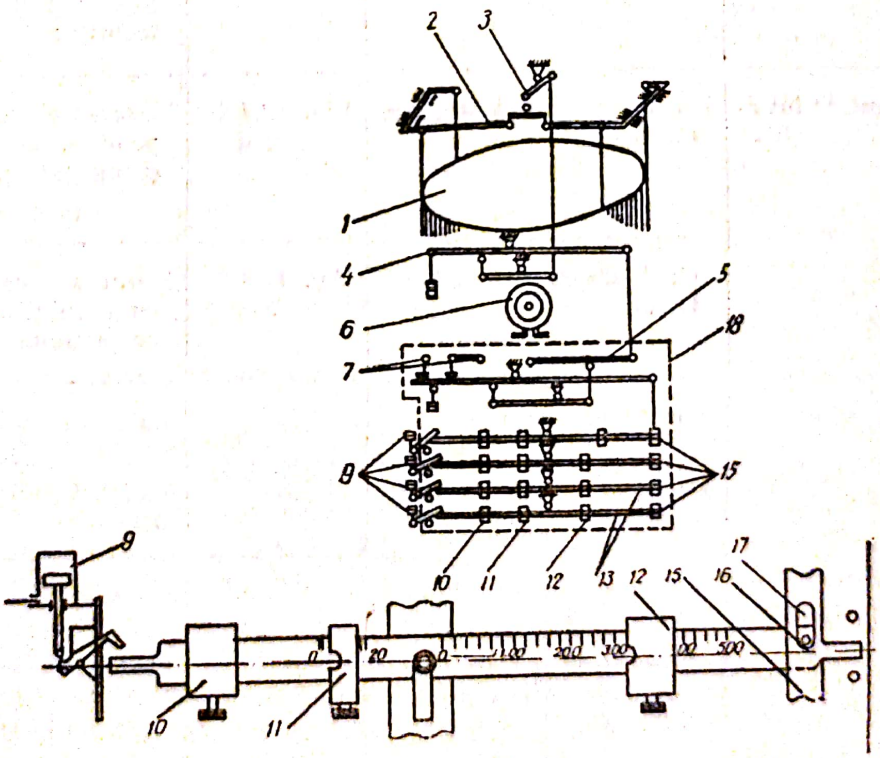


Fig. 12.4.4. Dozator gravimetric automat pentru agregate:

a — schemă; *b* — detaliu al barei gradate; *1* — buncăr; *2, 3, 4, 5* — pîrghii; *6* — indicator de greutate; *7* — contacte cu mercur pentru comanda automată a încărcării; *8* — pîrghie; *9* — cilindrii pneumatici; *10* — greutăți de reglare; *11, 12* — greutăți pentru cîntărire; *13, 14* — bare gradate; *15* — bară verticală; *16* — fusul barei gradate; *17* — fantă în bara verticală; *17* — dulapul de cîntărire

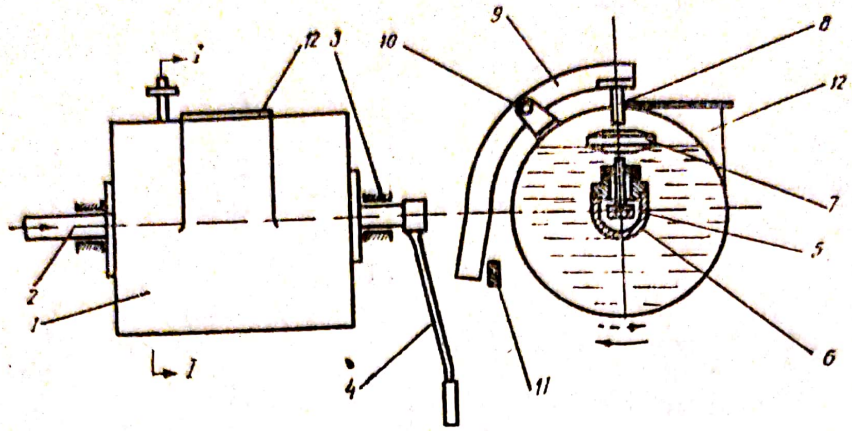


Fig. 12.4.5. Dozator de apă cu golire prin răsturnare:
1 — vasul dozatorului; *2* — conductă de alimentare cu apă; *3* — lagăr; *4* — maneta de răsturnare; *5* — corpul robinetului; *6* — supapă; *7* — plutitor; *8* — tija supapei; *9* — pîrghie; *10* — articulaţia pîrghiei; *11* — bară; *12* — gura de golire.

cilindrilor pneumatici 9. Comanda încărcării şi descărcării buncărului se face prin intermediul unor contactoare cu mercur, 7, acţionarea dispozitivelor de golire fiind pneumatică.

Dozatorul de apă cu golire prin răsturnare (fig. 12.4.5) este format din vasul cilindric 1, rezemat pe lagărele 3. Cînd apa adusă în vas, prin conducta 2 şi supapa 6, atinge plutitorul 7, acesta se ridică şi închide, prin intermediul tijei 8, accesul în continuare al apei în vas. Rezervorul se goleşte prin manevrarea manetei 4.

Se utilizează adesea dozatoare gravimetrice automate cu acţiune continuă, pentru ciment.

b) Betonierele. Organul de lucru al unei betoniere este toba. În funcţie de forma şi modul ei de funcţionare, se dă şi denumirea corespunzătoare betonierei, conform celor menţionate în tabela 12.4.1. În figura 12.4.6 se dă schema betonierei mobile cu tobă basculantă. Părţile sale principale sînt: căruciorul metalic 1, prevăzut cu patru roţi, toba 4, rezervorul de apă, mecanismele de transmisie a mişcării, alcătuite din electromotorul de ac-

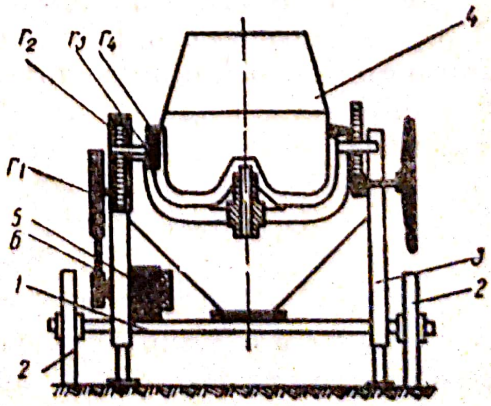


Fig. 12.4.6. Betonieră mobilă cu tobă basculantă:
1 — axul căruciorului mobil; *2* — roată de deplasare; *3* — scheletul metalic al betonierei; *4* — toba; *5* — electromotor; *6* — curele trapezoidale; r_1, r_2 — reductor cu roţi dinţate cilindrice; r_3, r_4 — angrenaj melc — roată melcată.

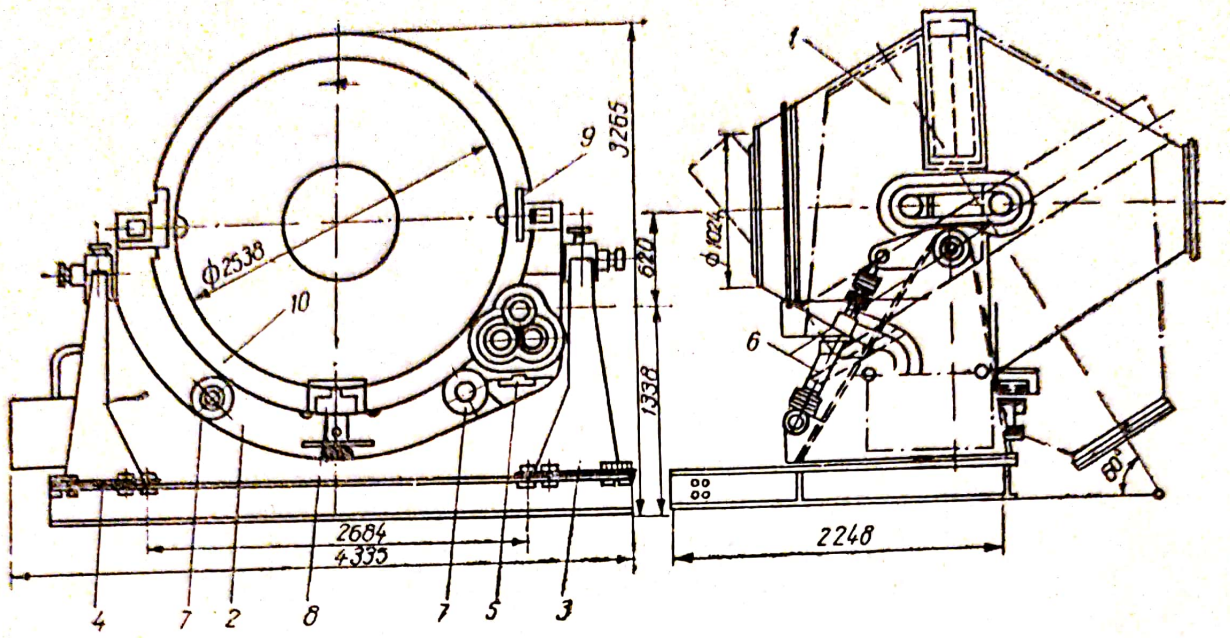


Fig. 12.4.7. Betonieră cu tobă bitronconică oscilantă (2400 l):
1 — tobă; *2* — traversă oscilantă; *3, 4* — suporţi; *5* — motor electric cu reductor; *6* — cilindru hidraulic; *7* — role de sprijin; *8,9* — role de ghidare; *10* — coroană dinţată.

ţionare 5, curelele 6, roţile dinţate cilindrice r_1, r_2 şi pinionul conic r_3, care angrenează cu coroana dinţată a tobei r_4. Pe acest principiu sînt construite betonierele tip „Steaua roşie" fabricate în ţară.

Comportarea betonierei cu tobă cilindrică cu axa orizontală în timpul lucrului, este similară betonierelor cu toba tronconică basculantă, cu deosebirea că descărcarea betonului se realizează prin introducerea jgheabului în interiorul tobei, direcţia axei tobei rămînînd tot timpul orizontală (fig. 12.4.1. b). În figura 12.4.7 este dată construcţia unei betoniere staţionare, cu tobă bitronconică oscilantă, cu amestecare prin cădere liberă şi acţiune periodică. Organul de lucru al betonierei este alcătuit dintr-o tobă bitronconică rotitoare de mare capacitate, 425—4500 *l*, cu palete interioare, sprijinită pe o traversă oscilantă, acţionată de electromotorul 5, prin intermediul unui reductor de turaţie (fig. 12.4.10). Acţionarea tobei pentru descărcare, se face hidraulic. În cazul betonierei mobile cu amestec forţat şi acţiune continuă (fig. 12.4.8) materialele componente ale betonului se introduc în partea inferioară a tobei, unde se produce o amestecare a lor în stare uscată. În treimea mijlocie a tobei se introduce apa necesară realizării umidităţii optime a compoziţiei. Betonul se descarcă continuu prin partea superioară a tobei, pe un transportor cu bandă.

c) Malaxoarele de mortar. Malaxoarele de mortar (fig. 12.4.2) servesc la fabricarea mortarului utilizat în lucrările de construcţii. În figura 12.4.9 este prezentat un malaxor de tipul „Steaua roşie" de 150 l, mult simplificat prin înlăturarea dispozitivului de încărcare şi a celui de dozare a apei. Răsturnarea cuvei, pentru descărcarea mortarului, se realizează prin învîrtirea

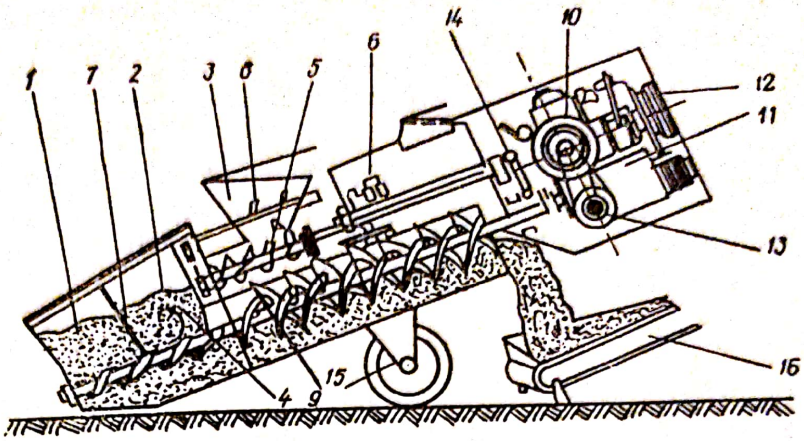


Fig. 12.4.8. Betonieră cu amestec forţat şi acţiune continuă:
1 — buncăr pentru nisip; *2* — buncăr pentru pietriş; *3* — buncăr pentru ciment; *4,5* — transportoare cu melc; *6* — rezervor de apă; *7* — diafragmă; *8* — agitator; *9* — arbore cu paletе; *10* — motor; *11* — reductor; *12* — transmisie cu curele; *13, 14* — cuplaje elastice; *15* — roţi; *16* — transportor cu bandă.

manivelei laterale, acţionată manual, care se află în legătură cu coroana dinţată a tobei. Pe arborele acestui malaxor sînt fixate paletele cu ajutorul cărora se produce amestecul şi omogenizarea mortarului.

Pentru alegerea unor elemente dimensionale sau de funcţionare ale tobei betonierelor, se vor ţine seama de anumite constatări experimentale, cum ar fi:

— relaţia optimă între volumul geometric al tobei V_g şi capacitatea de încărcare: $V_g = (4 - 5)V_i$;

— relaţia optimă între diametrul D şi lungimea L ale tobei:

$$D = (1{,}1 - 1{,}35)L\,;$$

— condiţia ca viteza periferică a tobei să fie cuprinsă între limitele $v = (0{,}5 - 2{,}4)$ m/s, condiţie care asigură o bună calitate a betoanelor.

Turaţia necesară a tobei este dată de formula

$$n = \frac{60\,v}{\pi \cdot D} \qquad [\text{rot/min}] \qquad (12.4.1)$$

Puterea necesară de acţionare, se calculează cu formulele date în tabele. În cazul malaxoarelor, puterea necesară se calculează în ipoteza că rezis-

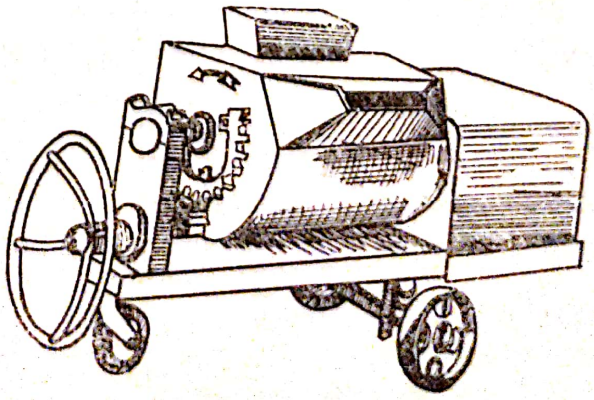


Fig. 12.4.9. Malaxorul de mortar *M2* „Steaua roşie" cu capacitatea de 150 l.

tența la deplasarea paletelor în mortar este proporțională cu mărimea suprafeței lor frontale

$$N = 0{,}736 \cdot \frac{z \cdot M \cdot n}{716{,}2 \cdot \eta} \quad [\text{kW}] \qquad (12.4.2)$$

unde: z este numărul de palete; M este momentul rezistent provenit din rotirea unei singure palete în amestec, în Kgf; n este turația arborelui cu palete, în rot/min.; η este randamentul transmisiilor egal cu 0,65 — 0,70.

Momentul M este dat de relația:

$$M = k \cdot l \cdot b \cdot \cos \alpha \cdot r_{med} \quad [\text{kgf} \cdot \text{m}] \qquad (12.4.3)$$

în care: k este rezistența specifică la deplasarea paletei în mortar; l — lungimea paletei, în cm; b — lățimea paletei, în cm; α — unghiul dintre planul paletei și axa arborelui; r_{med} — raza medie a paletei, în m.

Productivitatea betonierelor și malaxoarelor se poate calcula pe baza formulelor din tabela 12.4.4, în care se utilizează următoarele notații: V este volumul tobei sau al cuvei (l); t_1 — timpul necesar pentru încărcarea tobei egal cu (10— 30) s; t_2 este timpul necesar pentru amestec, egal cu (60—150) s; t_3 este timpul necesar pentru descărcare, egal cu (15 — 30) s; t_4 este timpul necesar pentru revenirea tobei (s); $K_b = \frac{V_b}{V}$ este coeficientul de producție al betonului (raportul dintre volumul betonului produs pe ciclu și volumul tobei); K_t este coeficientul de utilizare în timp; n este turația tamburului (rot/min); A este suprafața secțiunii fluxului de material în tobă (m²); p este pasul paletelor elicoidale (m); γ este coeficientul de frînare a paletelor și frecării cu toba ($\cong$ 0,5); $K_m = \frac{V_m}{V}$ este coeficientul de producție al mortarului (semnificație analoagă lui K_b); T este durata unui ciclu (sec).

Tabela 12.4.4.

Productivitățile betonierelor și malaxoarelor de mortar

Denumirea	Productivitatea		Valoarea coeficienților		
	Unitatea de măsură	Formula de calcul. Valoarea	K_b	K_m	K_t
BETONIERE	mc/h	acț. periodică	0,65.. ..0,70	—	—
		acț. continuă	0,68.. ..0,70	—	—
MALAXOARE	mc/h		—	0,85 ..1,0	0,85

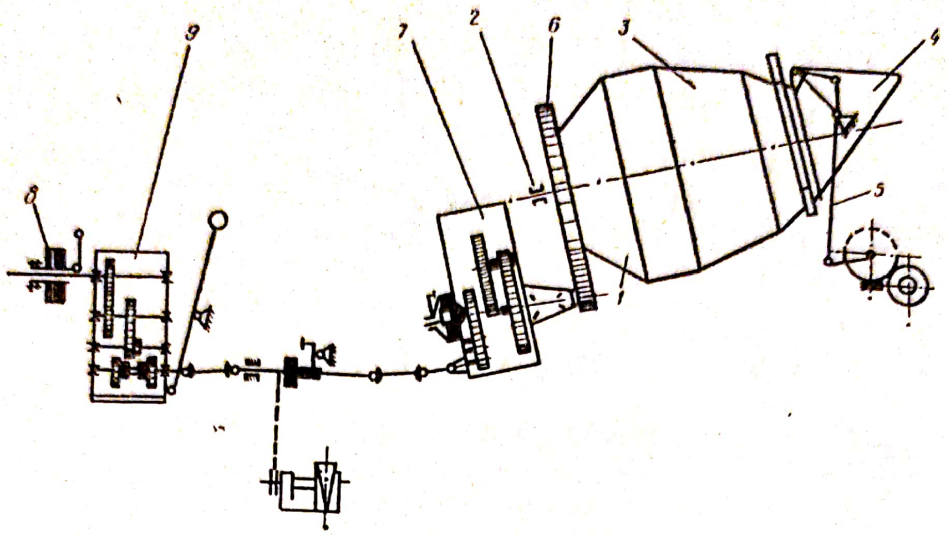


Fig. 12.4.10. Schema cinematică a betonierei — auto.

12.4.2. Mașini pentru transportul și compactizarea amestecurilor de betoane și mortar. Transportul betoanelor și mortarelor de la locul de fabricație la locul de lucru se poate face prin două metode: utilizarea autobetonierelor; utilizarea pompelor de beton și mortar.

În figura 12.4.10 este reprezentată schema cinematică a betonierei sovietice S289, montată pe un autocamion ZIL. Această betonieră-auto, constă din toba de amestecare 3, cu dispozitivele de încărcare 4 și de golire 5, transmisia, care se realizează de la motorul autocamionului prin intermediul arborelui cardanic și a reductorului 9 și instalația de pompare a apei, acționată tot de la motorul autocamionului. Toba betonierei este înclinată la 20° față de orizontală. Materialele se încarcă, numai în timpul rotirii, prin pîlnia 4. Descărcarea betonului se realizează prin inversarea sensului de rotație a tobei. În cazul transportului pe distanțe mai mari, în tobă se vor introduce proporțiile cuvenite din materialele ce intră în compoziția betonului, dozarea cu apă făcîndu-se cu aproximativ 15 minute înainte de ajungerea la destinație autobetoniera posedînd un rezervor propriu de apă. În acest fel se evită agregarea betoanelor în timpul transportului.

Echipamentul de lucru al unei pompe de beton cu piston (fig. 12.4.11) este alcătuit din buncărul 1 prevăzut cu două amestecătoare, pistonul 4 și cutia cu supape 7.

Betonul încărcat în buncărul 1 (fig. 12.4.11. a), este amestecat cu paletele 2 și agitatorul 3 (care are rolul de a activa trecerea betonului și de a împiedica depunerile după amestecare), este aspirat în cilindru și refulat, în continuare în conducta 9, prin schimbarea sensului de deplasare al pistonului și rotirea supapelor (fig. 12.4.11. b).

Pompa de mortar „Progresul" (fig. 12.4.12), este prevăzută cu o diafragmă elastică, cilindrică, și supape sferice cu acțiune independentă. Acționarea se face de la motorul electric (2 fig. 12.4.12), prin intermediul unui re-

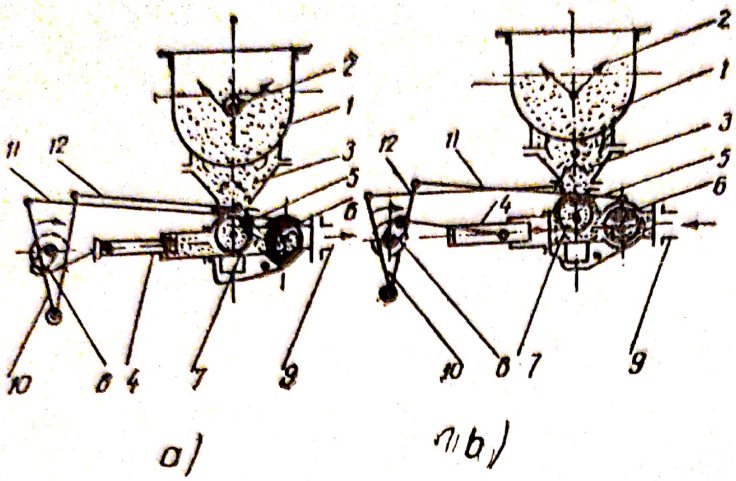


Fig. 12.4.11. *a,b* Schema pompei beton *S* 252:
a — aspiraţie; *b* — refulare; *1* — buncăre; *2* — amestecător cu palete; *3* — agitator; *4* — piston; *5, 6* — supape; *7* — cutia supapelor; *8* — arbore motor; *9* — conducta de refulare; *10* — culisă; *11, 12* — tijele supapelor.

ductor şi a unui arbore cotit. În timpul lucrului, mortarul se încarcă în buncărul 14, iar corpul pompei 9 se umple cu apă pentru formarea stratului de lichid intermediar, care datorită mişcării alternative a pistonului, acţionează asupra diafragmei 10, provocînd comprimări şi destinderi succesive, cărora le corespund aspiraţii şi refulări de mortar, prin supapele 11 şi 12, spre domul de aer 16, în care se produce uniformizarea presiunilor, amortizarea pulsaţiilor şi dirijarea mortarului spre conducta de refulare 19.

Construcţia pompei de mortar cu flux direct cu excepţia diafragmei, a poziţiei buncărului de încărcare şi a supapelor, este identică cu a aceleia cu flux invers, prezentată anterior.

Problemele principale de calcul care se pun la pompele de beton, se referă la determinarea presiunii dezvoltate la pistonul pompei, la stabilirea distanţelor limită de transport şi la determinarea puterii necesare pentru acţionare. Compoziţia granulometrică a agregatelor utilizate la prepararea betoanelor transportate prin pompare, trebuie să corespundă unei curbe granulometrice cît mai moi.

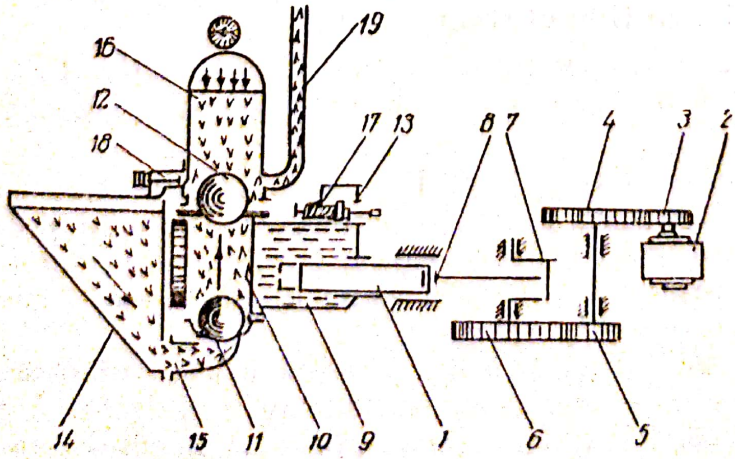


Fig. 12.4.12. Schema cinematică a pompei de mortar „Progresul" (6.mc/h):
1 — piston; *2* — motor electric, *3, 4, 5, 6* — reductor; *7* — arbore cotit; *8* — bielă; *9* — corpul pompei; *10* — diafragme; *11, 12* — supape; *13* — dispozitive de umplere; *14* — buncăr; *15* — cot; *16* — dom de aer; *17* — supapă de siguranţă; *18* — robinet; *19* — conductă de refulare.

Presiunea p_2, necesară la pistonul pompei, pentru învingerea frecărilor dintre amestecul de beton şi pereţii conductei de transport, pentru porţiunea orizontală a acesteia, se determină cu relaţia

$$p_2 = \frac{7 \cdot \gamma \cdot L}{10} \cdot \frac{\gamma_s - 1}{\gamma} \quad [\text{kgf/cm}^2], \tag{12.4.3}$$

iar în porţiunea verticală a ei, presiunea necesară p_1, este egală cu presiunea hidrostatică a fluidului, întrucît în această situaţie, particulele solide de beton nu exercită nici o presiune asupra conductei:

$$p_1 = \gamma \cdot H \quad [\text{kgf/cm}^2] \tag{12.4.4}$$

În cele două relaţii de mai sus, s-au utilizat notaţiile: γ este greutatea volumetrică a amestecului de beton egală cu (2000—24000) kgf/cm³ pentru agregate obişnuite; H este înălţimea de ridicare a amestecului; $f = 0{,}2 - 0{,}4$ este coeficientul de frecare al amestecului de beton cu conducta; L este lungimea conductei, în metri; γ_s este greutatea specifică a scheletului solid al amestecului de beton, în tf/m³, avînd valoarea 2,7 tf/m³ pentru agregatele obişnuite.

Distanţa maximă de transport pentru două pompe în serie (pompare în trepte) este de 350 m; un cot de 90° corespunde la 12 m liniari de conductă, iar unul de 45° la 6 m liniari de conductă.

Se recomandă ca valoare a raportului $\frac{H}{L}$ limitele:

$$\frac{H}{L} \in [0{,}1 \div 0{,}2] \tag{12.4.5}$$

Puterea necesară pentru acţionarea pompelor, se determină, orientativ, cu formula:

$$N = \frac{[\pi \cdot d^2 \cdot p \cdot s \cdot n]}{1{,}8 \cdot 10^6 \cdot \eta} \tag{12.4.6}$$

unde: d este diametrul cilindrului de lucru (cm); p este presiunea creată de pompă (p = 12 — 15 kgf/cm² la funcţionare staţionară); s este lungimea cursei pistonului (cm); n este numărul de curse pe minut ale pistonului; η este randamentul transmisiilor de la motor la pompă ($\eta = 0{,}8 - 0{,}9$).

12.4.3. Maşini pentru finisarea lucrărilor de betoane. Vibratoarele sînt aparatele utilizate în scopul eliminării golurilor şi apei din masa de beton turnată. Clasificarea lor, precum şi domeniile de utilizare, sînt date în tabela 12.4.5.

Construcţia vibratorului electromecanic de adîncime, cu arbore excentric şi ax flexibil, este redată în figura 12.4.13. Mişcarea porneşte de la arborele excentric al buteliei, care, rotindu-se cu o turaţie mare, creează vibraţii circulare ce se transmit prin lagăre, buteliei vibrante. Pentru îndesarea betonului, butelia se introduce în interiorul masei de beton. Compactarea betonului se realizează sub efectul vibraţiilor.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.4.5.

Maşini pentru finisarea lucrărilor de betone. Vibratoarele. Clasificarea şi domeniul de utilizare

Criteriul de clasificare	Denumirea maşinii	Domeniul de utilizare
După energie	Vibratoare electromecanice	Şantiere de lungă durată şi fabrici de betoane
	Vibratoare electromagnetice	
	Vibratoare pneumatice	Şantiere de lucru de scurtă durată.
După modul de lucru	Vibratoare de adîncime (pervibratoare)	Compactarea betonului din fundaţii.
	Vibratoare de suprafaţă	Compactarea plăcilor, planşeelor, pardoselelor, etc.
	Vibratoare exterioare	Compactarea betoanelor din cofraje.
	Mese vibratoare	Compactarea lucrărilor de betoane de mari dimensiuni

În cazul vibratorului de suprafaţă (fig. 12.4.14) vibraţiile circulare produse sub acţiunea forţei centrifuge în timpul mişcării de rotaţie a excentricelor montate pe arborele motorului electric, se transmit unei plăci de lemn, cu mînere, aşezată la suprafaţa stratului de beton. Compactarea betonului se realizează sub influenţa vibraţiilor de suprafaţă, transmise de la placa vibrantă la beton.

Construcţia vibratoarelor electromecanice de cofraj se bazează pe faptul că vibraţiile circulare, produse sub acţiunea forţei centrifuge în timpul mişcării

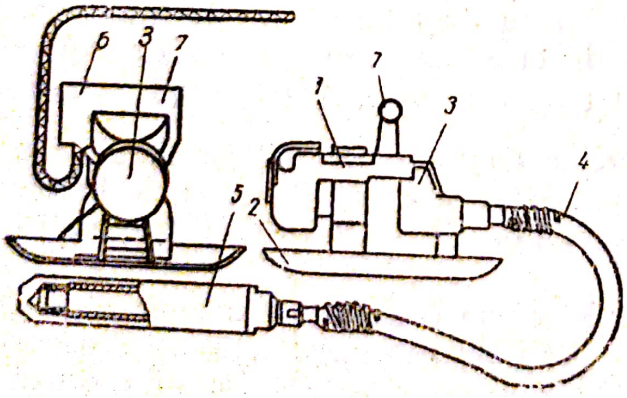


Fig. 12.4.13. Vibratorul *I* 21:
1 — motor electric; *2* — suport; *3* — multiplicator; *4* — ax flexibil; *5* — butelie vibrantă; *6* — cuplaj; *7* — mîner.

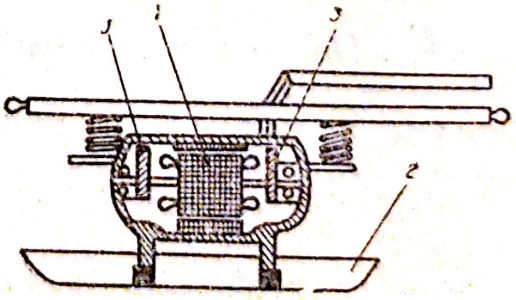


Fig. 12.4.14. Vibrator de suprafaţă.

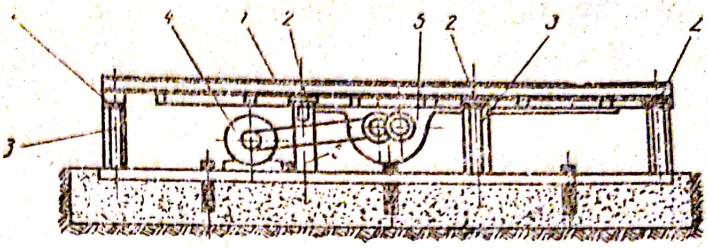


Fig. 12.4.15. Masă vibrantă:
1 — placă vibratoare; *2* — suporți de cauciuc; *3* — picioare; *4* — electromotor de acționare.

de rotație a excentricelor, sînt transmise direct cofrajelor sau cutiilor-formă de care este fixat corpul vibratorului, prin intermediul unei menghine. Îndesarea betonului se realizează sub efectul vibrațiilor transmise de la cofraj la beton.

Pentru compactarea diferitelor prefabricate, se utilizează așa numitele „mese vibratoare" (fig. 12.4.15), care lucrează pe principiul plăcii vibratoare. O asemenea masă vibratoare, este alcătuită dintr-o placă vibratoare 1, instalată pe picioarele 3, prin intermediul suporților de cauciuc 2. Electromotorul 4 acționează, prin curele trapezoidale, greutățile neechilibrate montate în carcasa 5, care este fixată dedesuptul plăcii vibratoare.

În ultima vreme se construiesc vibratoare universale, care pot fi folosite la lucrări variate de compactarea betonului. Ele au mai multe piese de schimb, și anume: capsulă mare, capsulă, mică, placă de vibrat îmbrăcăminți și pardosele de beton etc.

Problema calculului vibratoarelor se referă la determinarea parametrilor de bază ai acestora, care sînt: frecvența și amplitudinea vibrațiilor; momentul cinetic; forța perturbatoare; raza de acțiune; puterea necesară întreținerii vibrațiilor.

Frecvența vibrațiilor este numeric egală cu turația excentricelor

$$n_v = \frac{n}{\frac{D}{d} - 1} \qquad [\text{vib/min}] \qquad (12.4.7)$$

în care: n este turația arborelui (rot/min); D este diametrul ghidajului exterior (mm); d este diametrul elementului mobil (mm). În general, se recomandă a se utiliza frecvențe cît mai apropiate de frecvența proprie a amestecului de beton.

Momentul cinetic este dat de relația

$$M = \Sigma G_e \cdot r_e \qquad [\text{kgf/cm}] \qquad (12.4.8)$$

în care: G_e este greutatea excentricelor (kgf); r_e este raza de excentricitate (cm).

Forța perturbatoare P_0 se calculează cu formula

$$P_0 = m_e \cdot r_e \cdot \omega^2 = \frac{G_e}{g} \cdot r_e \cdot \omega^2 = \frac{M\omega^2}{g}, \qquad (g = 981 \text{ cm/s}^2) \qquad (12.4.9)$$

în care: m_e este masa excentricului (kgfs²/cm); ω este viteza unghiulară a excentricului (rad/s); M este momentul cinetic (kgfcm).

Scanned with OKEN Scanner

Amplitudinea vibrațiilor este

$$A = \frac{M}{m \cdot g} = \frac{M}{G} \qquad (12.4.10)$$

unde G este greutatea vibratorului (kgf).

Raza de acțiune r_2 a vibratoarelor se determină practic, din curba $A_2 = f(r_2)$, în care A_2 este amplitudinea minimă a vibrațiilor la care se mai produce încă fluidificarea amestecului vibrat (cm), pe baza relațiilor

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{r_1 e^{\psi r_1/s}}{r_2 e^{\psi r_2/s}} \quad \text{în cazul undelor sferice} \qquad (12.4.11)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} \cdot \frac{e^{\psi r_1/s}}{e^{\psi r_2/s}} \quad \text{în cazul undelor circulare (inelare)} \qquad (12.4.12)$$

unde: A_1 este amplitudinea vibrațiilor corpului vibratorului (cm); r_1 este raza exterioară a corpului vibratorului (cm); ψ este coeficientul de amortizare a vibrațiilor în amestecul de beton.

Puterea necesară pentru întreținerea vibrațiilor, se determină cu formula

$$N = \frac{1}{10{,}2} \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot K \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}] \qquad (12.4.13)$$

în care, K este coeficient de rezistență dat de relația

$$K = f_b \cdot D_v \cdot h \cdot \omega \quad [\text{kg} \cdot \text{s/cm}] \qquad (12.4.14)$$

unde: f_b este rezistența specifică a amestecului de beton, în kgfs^2/cm^3) (din tabele); D_v — diametrul exterior al vibratorului (cm); h este adîncimea de introducere a vibratorului în amestecul de beton (cm).

Determinarea puterii medii necesare pentru acționare se face luînd f_b la secunda a 15-a după introducerea vibratorului în masa de amestec.

12.5. MAȘINI SPECIFICE UNOR ATELIERE DE ȘANTIER

12.5.1. Mașini pentru pregătirea armăturilor destinate lucrărilor de beton armat. Din această categorie fac parte mașinile de întins, îndreptat și fasonat armăturile destinate lucrărilor de beton armat. Clasificarea acestor mașini, făcută în funcție de procesul tehnologic îndeplinit, poate fi urmărită pe tabela 12.5.1, în timp ce schemele constructive de principiu sînt prezentate în fig. 12.5.1.

Echipamentul de lucru al mașinii pentru tăiat armăturile (fig. 12.5.2) este alcătuit din două cuțite de oțel; cuțitul fix 11, montat pe corpul ștanței și cuțitul 10, mobil în lungul unei glisiere. Acționarea mașinii se face de la

Tabela 12.5.1

Clasificarea şi domeniul de utilizare al maşinilor pentru pregătirea armăturilor destinate lucrărilor de beton armat

Denumirea maşinii	Figura	Domeniul de utilizare
Maşini pentru răsucit şi împletit oţelul beton	Fig. 12.5.1 *a*	Răsucirea oţelului pătrat sau lat. Împletirea armăturilor din oţel rotund cu $\varnothing \leqslant 16$ mm
Maşini pentru profilarea la rece a barelor de oţel-beton cu profil periodic	Fig. 12.5.1 *b*	Laminarea la rece, pe bază de turtiri succesive în două planuri perpendiculare a barelor de oţel-beton pentru obţinerea armăturii cu profil periodic.
Maşini pentru tăierea armăturilor (ştanţe mecanice).	Fig. 12.5.1 *c*	Tăierea pe cale mecanică a armăturilor cu $\varnothing \leqslant 40$mm
Maşini pentru îndoirea armăturilor	Fig. 12.5.1 *d*	Fasonarea armăturilor cu diametre între 6 şi 40 mm, în formă de ciocuri, ancore, cu diferite unghiuri
Maşini universale, pentru îndreptarea şi tăierea armăturilor	Fig. 12.5.1 *e*	Desfăşurarea de pe colaci, îndreptarea şi tăierea automată a barelor de oţel-beton la lungimea cerută.

un motor electric prin intermediul unei transmisii cu roţi dinţate şi a unui mecanism bielă-manivelă care imprimă cuţitului mobil o mişcare alternativă.

În maşina pentru îndoirea armăturilor (fig. 12.5.3) echipamentul de lucru este alcătuit din discul 1 cu dornuri, barele opritoare 2 şi rolele de rezemare 3. Acţionarea electrică, similară cu a maşinii anterioare, produce rotirea

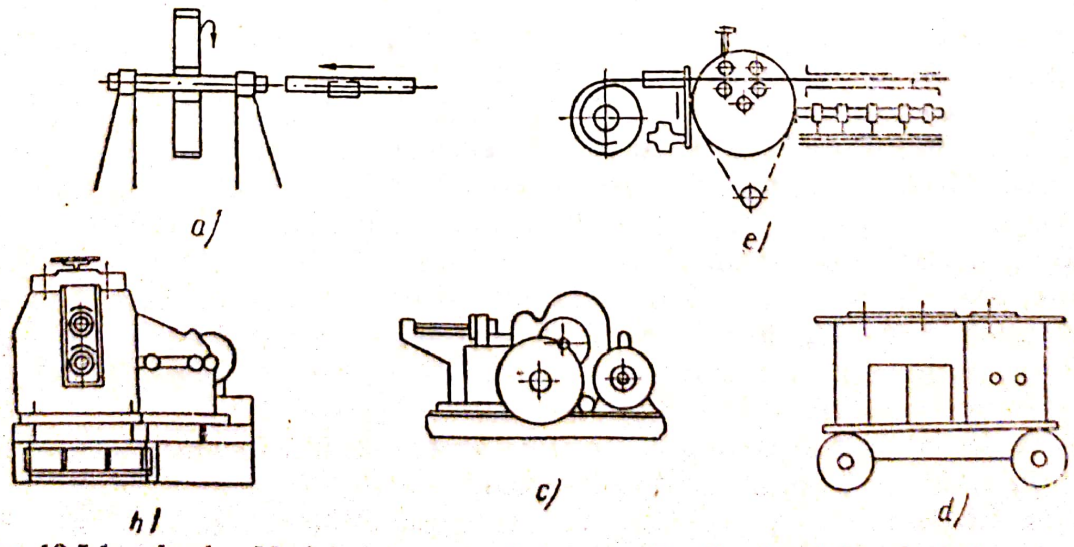


Fig. 12.5.1. *a,b,c,d,e,* Maşini pentru pregătirea armăturilor lucrărilor de beton armat.

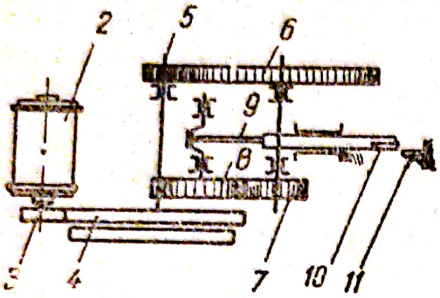


Fig. 12.5.2. Mașină pentru tăierea armăturilor:

a — vedere; *b* — schema cinematică; *1* — arbore excentric; *2* — motor electric; *3, 4, 5, 6, 7, 8* — mecanismul reductor; *9* — bielă; *10, 11* — cuțite.

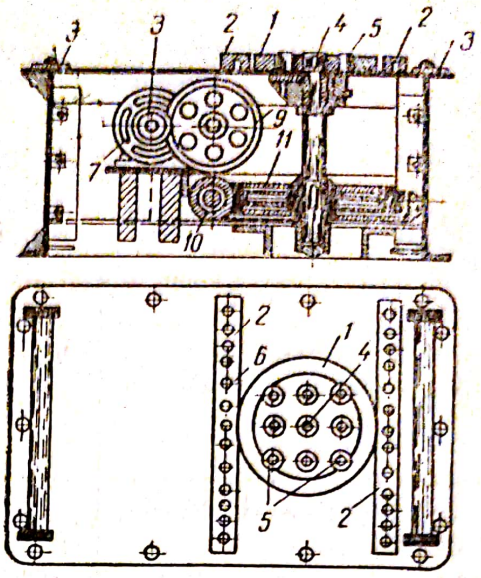


Fig. 12.5.3. Mașină pentru îndoirea și fasonarea armăturilor:

1 — discul de lucru; *2* — bare opritoare; *3* — role de rezemare; *4* — arbore vertical; *5* — dornuri de îndoire; *6* — dornuri opritoare; *7* — motor electric; *8, 9* — angrenaj cilindric; *10, 11* — angrenaj cu șurub melc.

discului de lucru, armăturile fiind îndoite în jurul dornurilor discului de către dornurile de îndoire 5 fixate în anumite locașe, dinainte prevăzute, ale discului 1, în funcție de forma necesară a fi dată armăturii.

Mașina universală de îndreptat și tăiat armăturile de oțel-beton avînd un diametru de maximum 14 mm (fabricată în R.S. România), este destinată să execute automat, și cu mare productivitate, curățirea, îndreptarea și tăierea la lungimile prescrise a oțelului-beton, livrat în colaci sau bare. Părțile sale componente sînt: batiul, motorul electric de acționare, toba cilindrică de îndreptat armăturile mecanismul de avans și de tăiere, dispozitivul de măsurare a armăturii la lungimea prescrisă, suportul pentru susținerea armăturilor tăiate și echipamentul electric.

În interiorul tobei sînt amplasate bacurile de îndreptat și capetele portsculă. Mecanismul de avans și tăiere, constă dintr-o transmisie cu roți dințate cilindrice, melc-roată melcată, ce se rotesc în sensuri contrare, distanța dintre cele două roți putînd fi reglată în funcție de diametrul oțelului beton. Mecanismul de măsurare a lungimii este un variator de viteză cu fricțiune, care cuplează cuțitele de tăiere, atunci cînd este cazul. Echipamentul electric constă din siguranțele fuzibile, întrerupătorul în ulei și releul de protecție contra suprasarcinilor prea mari, precum și din electromagnetul de comandă al cuțitelor de tăiere.

Mașina de fasonat oțel-beton S146A se utilizează în cazul armăturilor avînd un diametru maxim de 40 mm.

Stanța I.C.I, fabricată în țara noastră, este construcție închisă, sistemul de acționare fiind montat în interiorul batiului, iar organul de tăiere

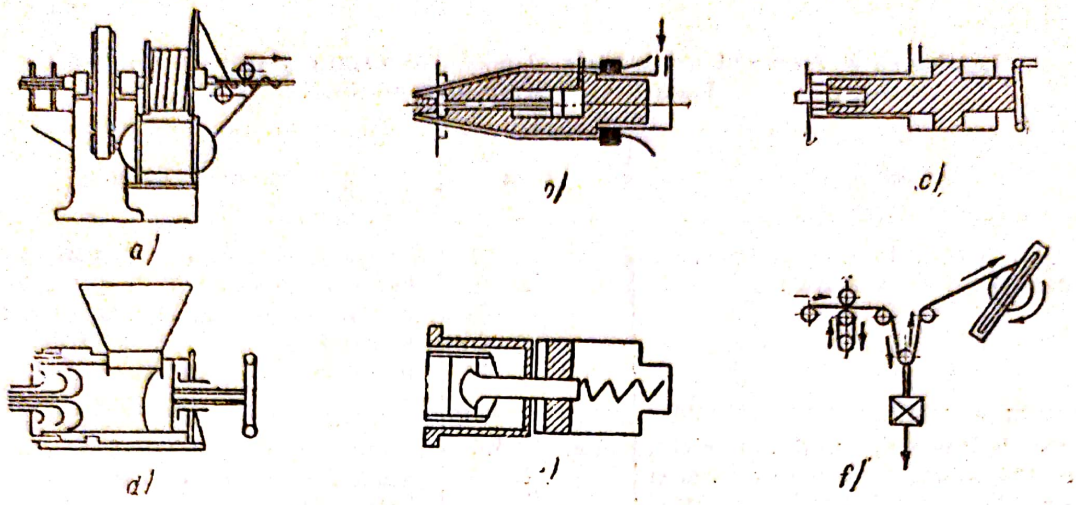


Fig. 12.5.4. Maşini pentru pregătirea armăturilor destinate lucrărilor de beton precomprimat.

fiind alcătuit dintr-o falcă fixă şi una mobilă, a căror funcţionare a fost descrisă anterior. Maşina universală pentru îndreptarea şi tăierea armăturilor, „tip Pandele" este prevăzută cu role de tragere şi de îndreptarea armăturii şi cu foarfeci de tăiere a acesteia, comandate de dispozitivul de măsurare la lungime.

12.5.2. **Maşini pentru pregătirea armăturilor destinate lucrărilor de beton armat precomprimat.** Aceste maşini sînt folosite la pregătirea armăturilor utilizate pentru confecţionarea fasciculelor de armături, punerea lor sub tensiune, precum şi pentru blocarea fasciculelor de armături şi a armăturilor izolate, necesare la lucrările de betoane precomprimate.

Clasificarea acestor maşini, în funcţie de procesul tehnologic îndeplinit, poate fi urmărită pe tabela 12.5.2 şi în figura 12.5.4, în care se dau schemele lor constructive de principiu.

Echipamentul de lucru al maşinii pentru confecţionarea fasciculelor de armături (fig. 12.5.5) este alcătuit din diafragma 8, arborele tubular 1, tamburul 3, pîrghia 4 şi căruciorul 10. Acţionarea maşinii se face de la un motor electric prin intermediul unei transmisii cu curele. Deplasarea căruciorului se realizează manual cu ajutorul unui cablu acţionat de un troliu (nu este reprezentat în fig. 12.5.5).

Din punct de vedere cinematic, maşina este alcătuită din două mecanisme : mecanismul de înfăşurare a sîrmei, compus din motorul 6, transmisia 7, arborele 1, tamburul 3, pîrghia de înfăşurare 4, greutatea pentru frînarea cablului (circa 25 kgf) ; mecanismul de tracţiune a armăturii, care cuprinde căruciorul 10, cablul de tracţiune şi troliul. În timpul lucrului, armăturile care vor alcătui primul strat al fascicolului, împreună cu inima de oţel moale sau din spirală de sîrmă, sînt trecute prin diafragma de ghidare 8 şi prin interiorul arborelui tubular 1, după care sînt trase cu ajutorul me-

Tabela 12.5.2

Clasificarea şi domeniul de utilizare al maşinilor pentru pregătirea armăturilor lucrărilor de beton precomprimat

Denumirea maşinii	figura	Domeniul de utilizare
Maşini pentru legarea cu sîrmă a fascicolelor de armături	Fig. 12.5.4 *a*	Aranjarea şi înfăşurarea cu sîrmă a fascicolelor de armături destinate armării betoanelor precomprimate la care transmiterea efortului de la armătură la beton se face prin ancoraje de capăt
Prese hidraulice cu dublu efect, tip Freyssinet pentru întinderea şi blocarea fascicolelor de armături	Fig. 12.5.4 *b*	Întinderea şi blocarea fascicolelor de armături necesare pentru armarea betoanelor precomprimate, la care transmiterea efortului de la armătură la beton se face prin ancoraje de capăt, realizate sub formă de conuri de beton armat
Prese pentru întinderea şi blocarea barelor izolate	Fig. 12.5.4 *c*	Întinderea şi blocarea barelor izolate în elementele de beton precomprimat, la care transmiterea efortului de la armătură la beton se realizează cu ajutorul piuliţelor de capăt
Vibroprese pentru umplerea cu beton a paharelor de ancoraj	Fig. 12.5.4 *d*	Umplerea cu beton a paharelor de ancoraj pentru blocarea fascicolelor de armături la elementele de beton precomprimat, la care transmiterea efortului de la armătură la beton se realizează prin ancoraje de capăt.
Prese hidraulice pentru punerea sub tensiune a armăturilor	Fig. 12.5.4 *e*	Punerea sub tensiune a armăturilor şi a fascicolelor de armături utilizate la elementele de beton precomprimate, la care transmiterea efortului de la armătură la beton se face prin ancoraje de capăt
Prese hidraulice pentru punerea sub tensiune a firelor de oţel de înaltă rezistenţă	—	Punerea sub tensiune a firelor de oţel de înaltă rezistenţă, utilizate ca armături în elementele de beton precomprimat, la care transmiterea eforturilor de la armătură la beton se realizează prin aderenţă
Prese pentru tensionarea firelor de oţel	—	
Mese rotative pentru punerea sub tensiune a armăturii continue	Fig. 12.5.4 *f*	Punerea sub tensiune a armăturii continue preîntinse sau postîntinse, utilizată la armarea elementelor de beton precomprimat

Scanned with OKEN Scanner

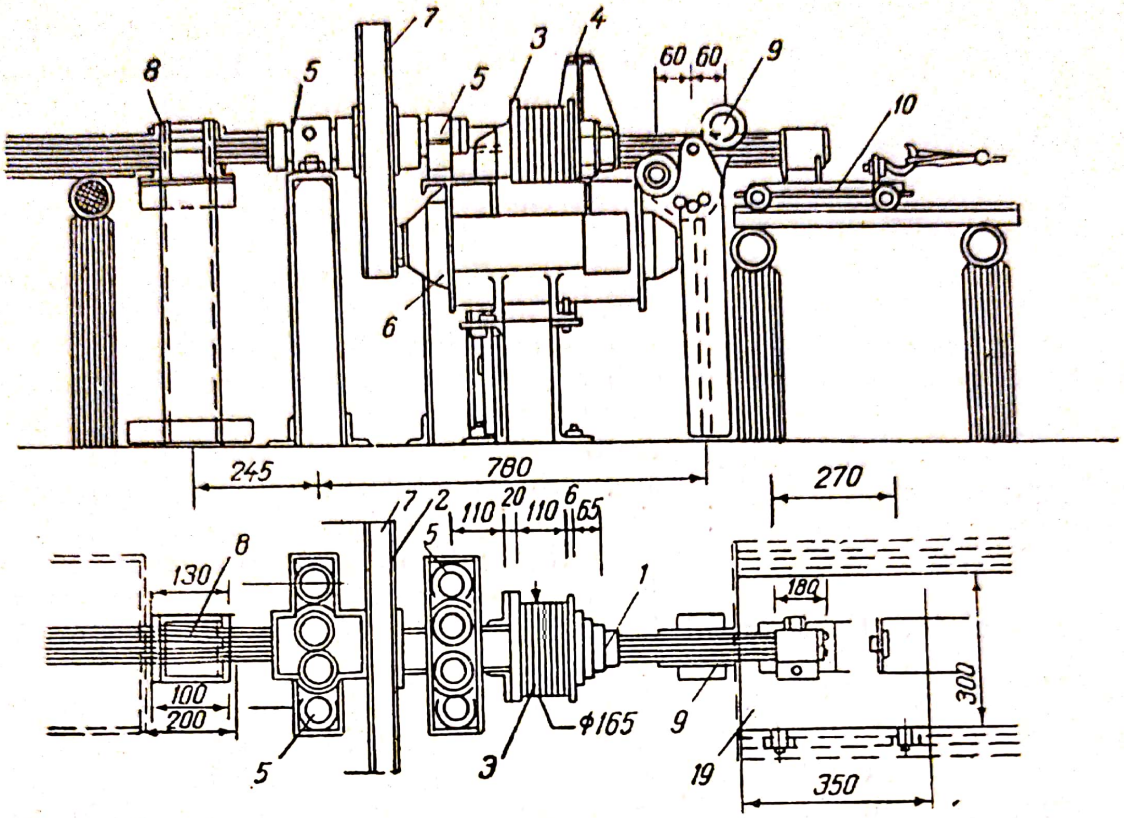


Fig. 12.5.5. Maşina pentru legarea cu sîrmă a fasciculelor de sîrmă;

1 — arbore tubular; *2* — roată de curea; *3* — tambur cu sîrmă pentru înfăşurat; *4* — pîrghie cu înfăşurare; *5* — lagăre; *6* — motor electric; *7* — transmisie cu curea; *8* — diafragmă pentru ghidarea armăturilor; *9* — role pentru ghidarea fasciculului de armături; *10* — cărucior.

canismului de tracţiune şi înfăşurate pe mecanismul de înfăşurare pus concomitent în funcţiune. Viteza de înfăşurare este de aproximativ 200 spire/minut.

Presa hidraulică cu dublu efect, tip Freyssinet (fig. 12.5.6) poate executa simultan întinderea armăturilor, pe baza mişcării de translaţie a corpului presei exterioare 1, şi imobilizarea acestora, prin înfigerea corpului interior

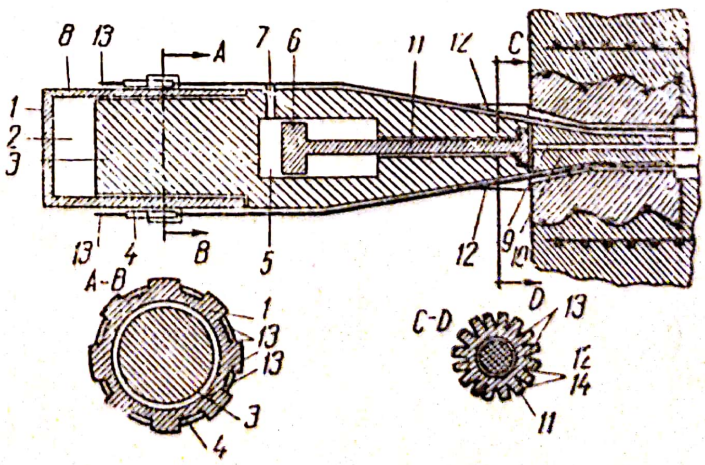


Fig. 12.5.6. Presă hidraulică cu dublu efect, tip Freyssinet:

1 — corpul presei exterioare; *2, 5* — camere de presiune; *3* — pistonul presei exterioare şi cilindrul presei interioare; *4* — pene pentru blocarea armăturii în presă; *5* — pistonul presei interioare; *7, 8* — orificii pentru pomparea lichidului sub presiune; *9* — tub metalic; *10* — con pentru ancorarea armăturilor; *11* — tijă; *12* — urechi de rezemare; *13* — armături; *14* — şanţuri de ghidaj.

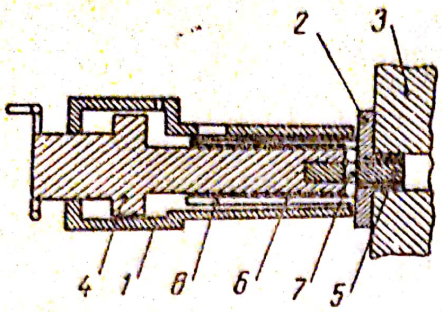


Fig. 12.5.7. Presă hidraulică pentru întinderea şi blocarea barelor izolate:

1 – corpul presei; *2* – placă de repartiţie; *3* – capătul grinzii; *4* – tijă – piston; *5* – bara de tensionat; *6* – cheie tubulară interioară; *7* – piuliţă pentru blocarea barei pretensionate; *8* – ferestre pentru manevrarea cheii tubulare.

de ancoraj 10, în cel exterior, datorită mişcării de translaţie a tijei 11. În acest scop se aşază urechile 12 ale presei pe elementul de beton care urmează a fi precomprimat şi se introduc armăturile prin şanţurile de ghidaj 14, fixîndu-se de corpul presei exterioare, două cîte două, cu ajutorul penelor 4. Prin pomparea lichidului sub presiune în camera 2, corpul presei se întinde şi provoacă întinderea armăturilor. Prin introducerea lichidului sub presiune în camera 5 va fi acţionat pistonul 6 care, împingînd conul de ancoraj 10, realizează blocarea armăturilor. În continuare, prin canalul 9 se injectează mortar de ciment sub o presiune de 20 atmosfere.

În figura 12.5.7. este prezentată presa hidraulică pentru întinderea şi blocarea armăturilor izolate. Echipamentul de lucru este compus din pistonul 4 şi cheia tubulară 6, care poate fi manevrată prin fereastra 8, cu ajutorul unei pîrghii cu clichet. Pentru întinderea barelor, acestea se aşază în interiorul unei grinzi cu goluri (conform indicaţiilor din proiect), după care urmează turnarea betonului. Se aşteaptă puţin pentru o întărire minimă a acestuia, apoi pompînd lichid sub presiune în corpul presei, se obţine tensionarea dorită a armăturii. Blocarea ei în poziţie tensionată, se realizează prin strîngerea piuliţei 7 cu ajutorul cheii tubulare 6 treptat, pe măsura realizării efortului de întindere.

12.5.3. **Elemente de calcul.** *a) Maşinile pentru îndreptarea şi tăierea armăturii.* Forţa de apăsare T a rolei superioare de tracţiune necesară pentru realizarea efortului de tracţiune din armătură (fig. 12.5.8. a) se determină cu formula

$$T = \frac{F}{4f \sin \beta} \qquad [\text{kgf}] \qquad (12.5.1.)$$

în care: F este efortul de tracţiune al rolelor, exprimat în kgf, şi care trebuie să învingă rezistenţa la desfăşurarea armăturii de pe colac şi rezistenţele provenite din acţiunea tamburului de îndreptare în timpul lucrului; f este coeficientul de frecare dintre armătură şi role şi are valoarea de aproximativ 0,2; β este unghiul de înclinare al canalului rolelor faţă de verticală. Pentru micşorarea forţei de apăsare şi mărirea aderenţei între role şi armătură se ia $\beta = 45°$.

Momentul de torsiune M, necesar pentru rotirea tamburului de îndreptare (fig. 12.5.8.*b*), este dat de formula

$$M = \frac{0{,}2 \cdot d^3 \cdot \sigma_c \cdot n_i \cdot a}{} \quad (l + f_1) \qquad [\text{kgf/cm}] \qquad (12.5.2.)$$

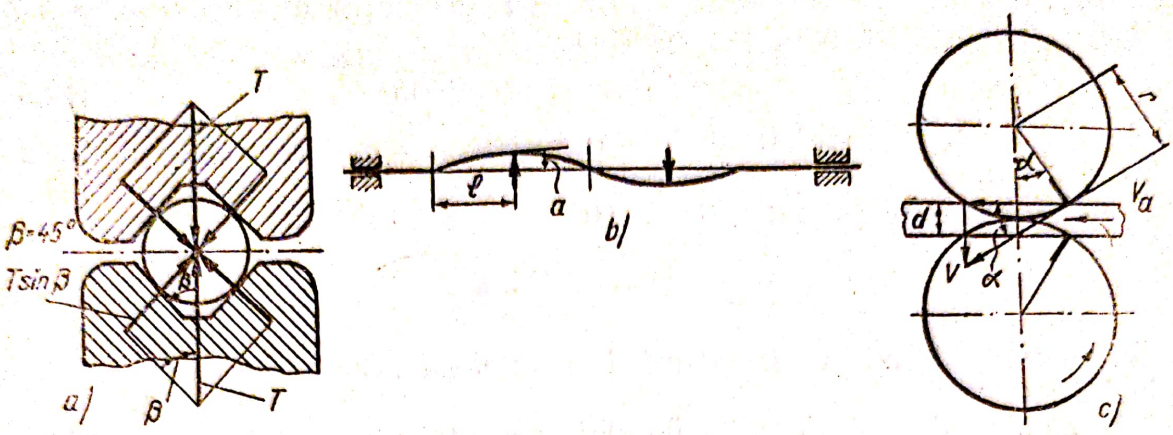


Fig. 12.5.8. Scheme pentru calculul maşinilor de tăiat şi îndoit armături:
a — determinarea forţei de apăsare a rolelor de tracţiune; *b* — îndreptarea armăturii; *c* — determinarea vitezei de înaintare a armăturii.

unde: d este diametrul armăturii, în cm; σ_c este limita de curgere a armăturii, în kgf/cm²; n_i este numărul de încovoieri suferite de armătură prin intermediul bacurilor de pe tambur; a este amplitudinea deformaţiei, în cm; l este distanţa între bacuri, în cm; f_1 este coeficientul de frecare la alunecare şi are valoarea de (0,12—0,15).

Viteza de înaintare a armăturii v_a condiţionată de viteza periferică a foarfecelor circulare, are valoarea:

$$v_a \leqslant v \cdot \cos \alpha \qquad (12.5.3)$$

Puterea necesară pentru acţionare, N se poate calcula orientativ cu formula

$$N = 0{,}736 \left[\frac{M \cdot n}{716{,}2 \cdot \eta_1} + \frac{F \cdot v}{75 \cdot \eta_2} + \frac{r \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \tau \sin \alpha}{300 \eta_3} \right] \quad [\text{kW}] \quad (12.5.4.)$$

în care: M este momentul de torsiune la axul tamburului, în kgfm; n — turaţia tamburului, în rot/min; η_1 — randamentul transmisiilor tamburului de îndreptare; F — efortul de tracţiune al rolelor, în kgf; v_a — viteza de înaintare a armăturii, în m/s; η_2 — randamentul transmisiilor mecanismului de acţionare a rolelor de tracţiune; r — raza exterioară a foarfecelor, în cm; d — diametrul armăturii, în cm; τ — rezistenţa limită la tăiere a armăturii, în kgf/cm² şi avînd valoarea (0,7 — 0,8) din valoarea rezistenţei limită la tracţiune; α — unghiul de atac al foarfecelor; η_3 — randamentul transmisiilor pentru acţionarea foarfecei circulare.

Primul termen al relaţiei reprezintă puterea necesară pentru îndreptare, al doilea pentru antrenare, iar al treilea pentru tăierea armăturii. În cazul acţionării cu două motoare, un motor serveşte pentru îndreptarea armăturii, iar al doilea pentru tragerea şi tăierea ei.

Scanned with OKEN Scanner

b) Maşinile pentru tăierea armăturilor. Numărul de curse, n, a cuţitului mobil, este dat de relaţia:

$$n = i \cdot n_1 \qquad [\text{rot/min}] \qquad (12.5.5)$$

în care i este raportul total de transmitere, iar n_1 este turaţia motorului, în rot/min.

Efortul maxim pe cuţit, P, va fi

$$P = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau \qquad (12.5.6.)$$

unde: d este diametrul armăturii, în cm; τ este rezistenţa limită la tăiere, în kgf/cm²;

Momentul de rotaţie al arborelui excentricului poate fi calculat cu formula

$$M = P \cdot r_1 \left\{ \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} + f\left[r_2 + r_3 \left(1 + \frac{r_1}{L}\right) + r_4 \cdot \frac{r_1}{L} \right] \right\} \qquad [\text{kgf} \cdot \text{m}] \qquad (12.5.7)$$

unde: P este efortul pe cuţit, în kgf; r_1 este excentricitatea, în cm; α este unghiul dintre raza excentricului şi direcţia de înaintare a cuţitului, în grade; $\beta = \text{arc sin}\left(\frac{r_1}{L} \sin \alpha\right)$, în grade; L este lungimea bielei, în cm; f este coeficientul de frecare şi are valoarea de 0,10—0,15; r_2 este raza fusului arborelui excentric, în cm; r_3 este raza excentricului, în cm; r_4 este raza bolţului cuţitului, în cm.

Puterea necesară pentru acţionare va fi

$$N = 0{,}736 \cdot \frac{M \cdot n}{716{,}2 \cdot \eta} \qquad [\text{kW}] \qquad (12.5.8.)$$

în care: n este numărul de curse pe minut a cuţitului; η este randamentul transmisiilor; M se ia în kgfm.

c) Maşinile pentru îndoirea armăturii. Momentul de rotaţie al arborelui discului, M, depinde de diametrul armăturii şi de raza de încovoiere, fiind dat de relaţia

$$M = \left(K + \lambda \frac{d}{d + r_0}\right) \sigma \cdot W \qquad [\text{kgf} \cdot \text{cm}] \qquad (12.5.9.)$$

unde: k este coeficientul de formă al armăturii (pentru secţiune circulară $k = 1{,}7$); λ este coeficientul calităţii materialului şi are valoarea de 0,62 — — 0,71; d este diametrul barei, în cm; T_0 este raza de încovoiere, în cm; $\sigma = 6000 - 7700$ kgf/cm², este tensiunea la încovoiere; W este modulul de rezistenţă al armăturii.

Turaţia discului de lucru şi puterea necesară de acţionare se determină cu relaţiile similare date la punctul b. Productivitatea maşinilor pentru pregătirea armăturilor destinate lucrărilor de beton armat, este dată în tabela 12.5.3. În cazul lucrărilor de beton precomprimat, productivitatea

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.5.3.

Productivitatea maşinilor pentru tăierea, îndreptarea şi fasonarea armăturilor

Denumirea maşinii	Unitatea de măsură	Productivitatea
Maşini pentru tăierea armăturii	t/h	3...5
Maşini pentru tăiat şi îndreptat	t/sch.	1...10
Maşini pentru îndoirea armăturilor	t/h	1

maşinilor depinde substanţial de particularităţile tehnologiei de fabricaţie a elementului precomprimat şi doar în mică măsură de caracteristicile tehnice ale maşinilor folosite.

12.5.4. **Maşini unelte folosite pe şantiere.** În cazul organizării unui şantier mai mare, în dotarea acestuia va trebui să se aibă în vedere înfiinţarea unui atelier de prelucrări mecanice. înzestrat cu principalele maşini unelte. Dintre acestea, strungul este maşina unealtă de bază, întrucît permite realizarea unor lucrări multiple şi variate. În figura 12.5.9. este prezentată vederea generală a unui strung românesc fabricat la Arad, în timp ce în fig. 12.5.10. este dată schema sa cinematică. Părţile componente ale unui strung sînt axul canelat de pornire-oprire, cutia de viteze, căruciorul, pă-

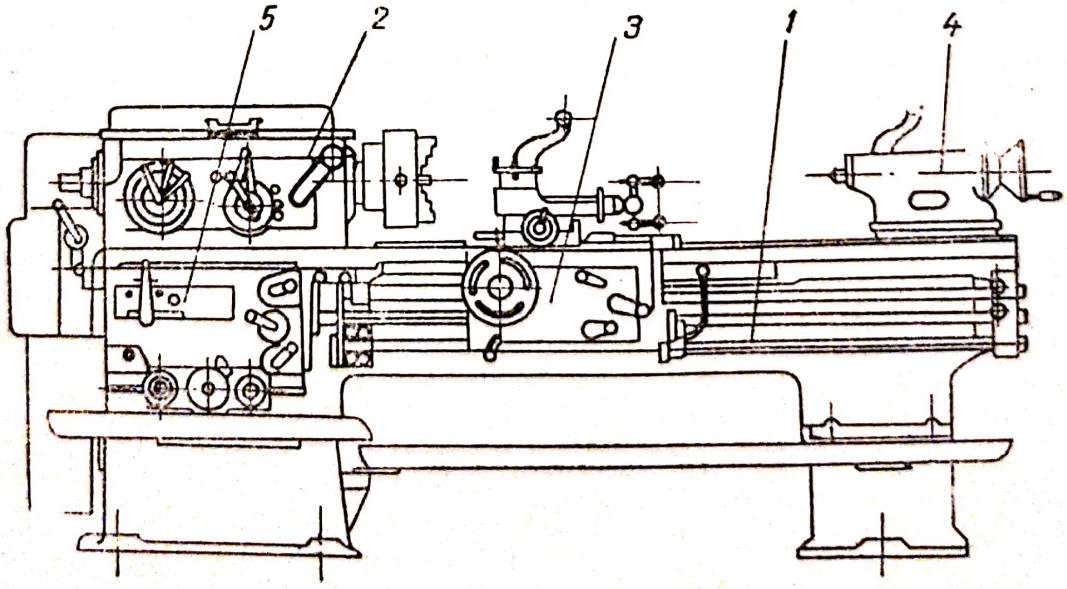


Fig. 12.5.9. Strungul normal S_3 fabricat la uzinele „Strungul" Arad:
1 — ax canelat pornire — oprire; *2* — cutie de viteze; *3* — cărucior; *4* — păpuşă mobilă; *5* — cutie de avansuri.

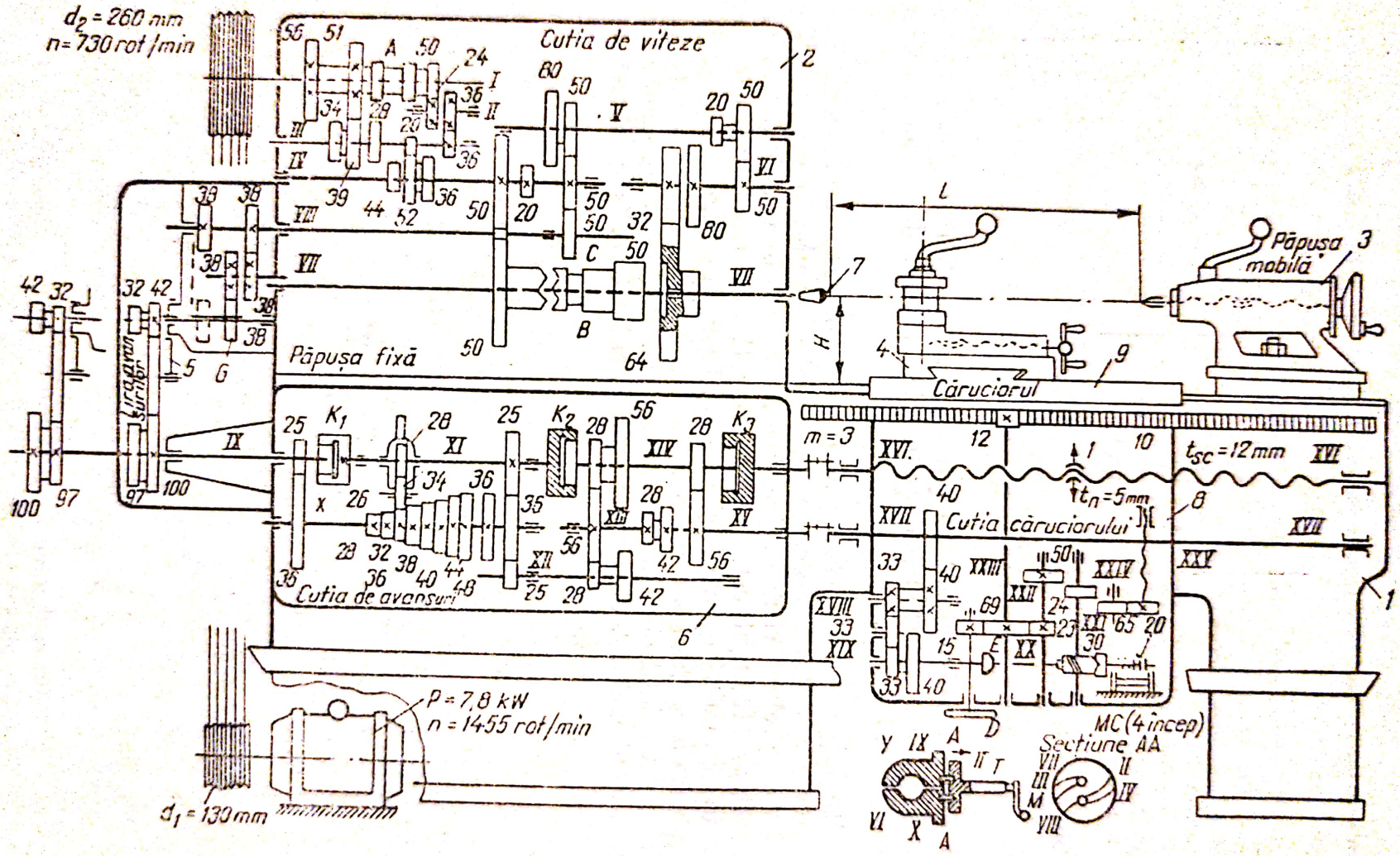


Fig. 12.5.10. Schema cinematică a strungului.

puşa mobilă şi cutia de avansuri. Căruciorul este subansamblul care poartă cuţitul în mişcările pe care acesta trebuie să le facă, pentru avansul longitudinal, transversal, pentru filetare etc. Deasupra se mişcă sania transversală pe care este montată placa turnantă cu sania port-cuţit.

Păpuşa mobilă serveşte la susţinerea piesei de prelucrat între vîrfurile strungului.

În cutia căruciorului se află transmisia cu roţi melc-roată melcată şi sistem de cremaliere pentru avansul longitudinal şi transversal. Cutia de viteze principală a strungului are drept scop obţinerea de diferite turaţii la capul universal în funcţie de prelucrarea care urmează a se face; ea se compune dintr-un sistem de transmisie prin roţi dinţate cilindrice şi grupuri baladoare. Vitezele finale se realizează prin deplasarea manetelor de comandă în anumite poziţii dinainte stabilite. Caracteristicile principale ale unui strung sînt: înălţimea vîrfurilor (mm), distanţa dintre vîrfuri (mm), numărul de trepte de turaţie ale axului principal şi numărul avansurilor longitudinale şi transversale.

În fig. 12.5.11. se dă schema unei maşini de rabotat cu cuţit mobil (şeping). Cuţitul este fixat pe port-cuţitul rabatabil *14*, care se sprijină pe căruciorul *5*, ce se mişcă o dată cu berbecul *B* al maşinii. Avansul transversal al mesei se execută la sfîrşitul cursei în gol de către biela *1*, roata *3* cu clichet şi şurubul conducător *4*. Avansul vertical se execută prin pîrghia *8*, a cărei rolă *7* acţionează clichetul *9*, făcînd astfel să înainteze roata dinţată în lungul şurubului t_3. Reglarea lungimii cursei se face cu şurubul t_1. Maşinile de rabotat se deosebesc de şeping prin faptul că au cuţitul fix şi masa mobilă. Reversarea sensului de mişcare se face prin intermediul a doi opritori (limitatori de cursă) care acţionează asupra comutatorului din circuitul inversorului.

Burghiele, simple sau pentru filetat, permit o gamă largă de operaţii. Maşina pe care sînt montate în vederea executării acestor lucrări este maşina de găurit, a cărei schemă de ansamblu este prezentată în figura 12.5.12.

Transmisia mişcării de la motorul de acţionare la axul principal se face prin intermediul unei cutii de viteze cu roţi baladoare şi simple, cilindrice, în vederea obţinerii diferitelor turaţii ale axului, în funcţie de operaţia ce urmează a fi executată şi de materialul ce este prelucrat.

Conform standardelor, prin noţiunea de frezare se înţelege aşchierea executată de o sculă denumită freză, care efectuează mişcarea principală de rotaţie, mişcările secundare fiind efectuate de către sculă sau de către piesă. Maşina utilizată este maşina de frezat. Cutia de viteze a axului portfreză şi cea de deplasare a mesei, sînt realizate, principial, similar cu cele de la strung. Cu această maşină se pot executa lucrări ca: frezarea dinţilor roţilor dinţate şi a canalelor cu ajutorul capului divizor, sau frezarea suprafeţelor plane orizontale, verticale şi înclinate.

12.5.5. **Maşini specifice unor ateliere de dulgherie.** În cadrul şantierului, asupra materialului lemnos se efectuează o serie de operaţii, ca: tăiere, giluire (rindelare), găurire etc., care se execută cu maşini speciale de prelu-

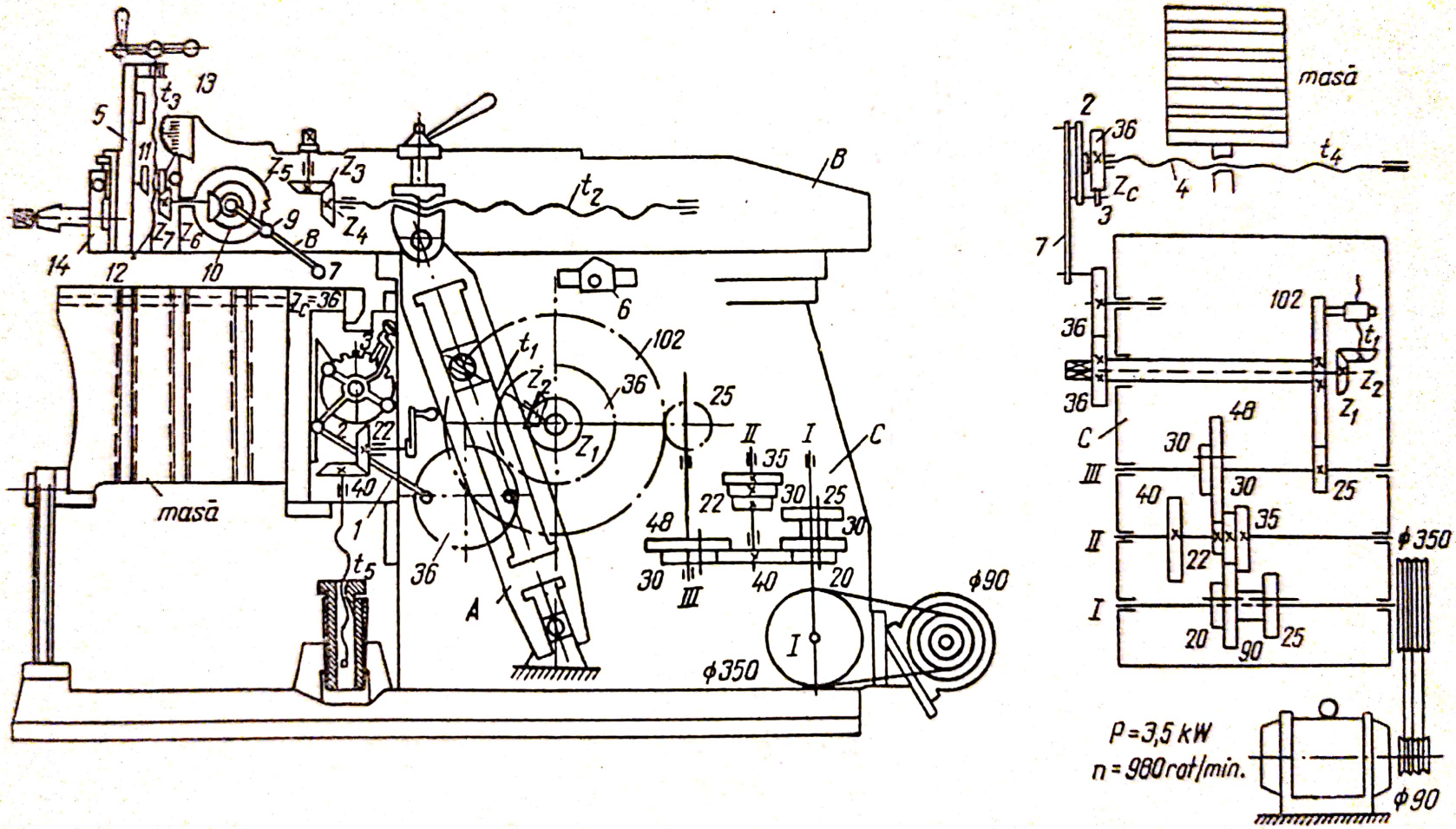


Fig. 12.5.11. Schema cinematică a unui șeping (cifrele de lîngă roți reprezintă numărul de dinți).

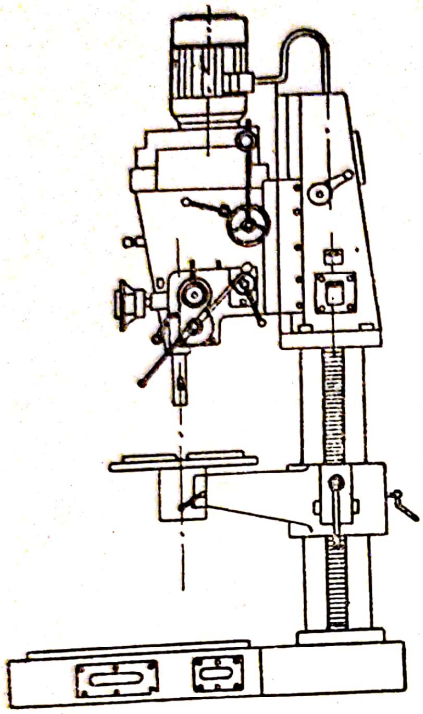


Fig. 12.5.12. Maşina de găurit coloană, tip *A4*

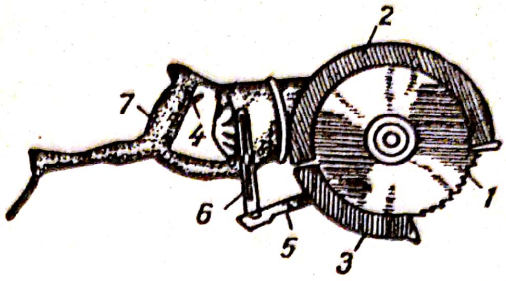


Fig. 12.5.13. Fierăstrăul electric cu disc: *1* — disc — fierăstrău; *2, 3* — apărătoare; *4* — întrerupător; *5* — talpă de rezemare; *6* — regulatorul adîncimii de tăiere; mîner.

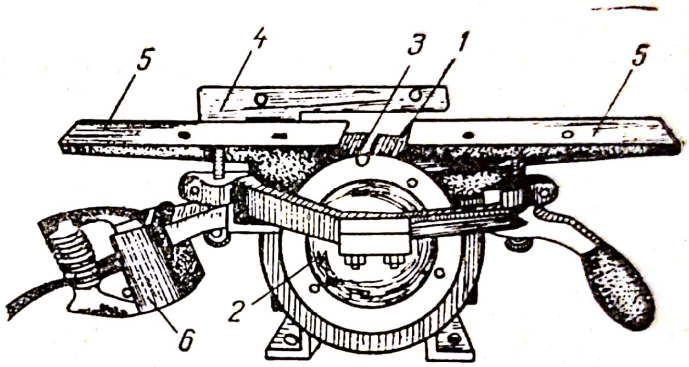


Fig. 12.5.14. Rindea electrică: *1* — rotorul motorului; *2* — statorul motorului; *3* — cuţit de geluit; *4* — riglă de ghidaj; *5* — panouri de rezemare; *6* — cutia întrerupătorului.

crare a lemnului. În figura 12.5.13. este prezentat fierăstrăul electric cu disc; în figura 12.5.14. se, arată modul de construcţie al rindelei electrice. Pentru executarea găurilor dreptunghiulare se utilizează dalta electrică în timp ce găurile circulare se pot executa şi cu maşinile de găurit, prezentate la prelucrările mecanice ale metalelor.

12.6. MAŞINI PENTRU LUCRĂRI SPECIALE

12.6.1. Maşini şi instalaţii de torcretat şi vacuumat. Eliminarea excesului de apă şi a golurilor de aer din masa betonului turnat se poate realiza şi prin utilizarea procedeului de vacuumare a betonului, care se realizează prin crearea unei depresiuni la suprafaţa betonului turnat. În principiu o asemenea instalaţie (fig. 12.6.1) se compune din pompa de vacuumare *1* cu electromotorul (sau motorul cu explozie) care o antrenează, rezervorul compensator *2*, legat direct la pompa de vacuum, rezervorul colector de apă *3* pentru colectarea apei extrase din masa betonului, aparatele care sînt puse direct în legătură cu betonul turnat (panouri, cofraje, butelii vacuumatice), conductele de legătură între aparatele de vacuumare şi apara-

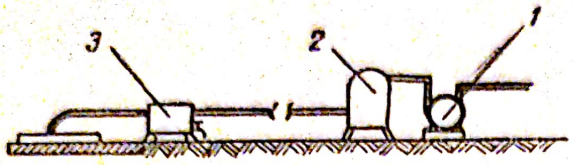


Fig. 12.6.1. Schema unei instalaţii de vacuumare:
1 — pompa de vacuum; *2* — rezervor compensator; *3* — rezervor colector de apă.

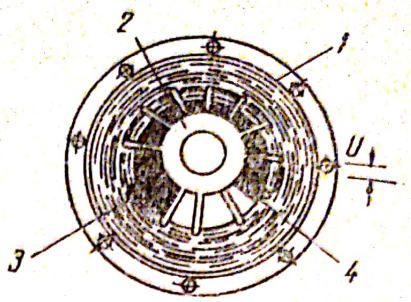


Fig. 12.6.2. Principiul de funcţionare al paletei pompei centrifuge de vacuum:
1 — carcasă; *2* — ax; *3* — orificiu de aspiraţie; *4* — orificiu de refulare.

tele de măsurat depresiunea din instalaţie. Pompele utilizate pot fi clasificate după principiul de funcţionare, în pompe centrifuge cu inel de apă şi în pompe rotative cu lamele. Pompa centrifugă cu inel de apă (fig. 12.6.2), se compune în principiu din carcasa *1* în interiorul căreia se roteşte un ax *2*, dispus excentric, pe care sînt aşezate o serie de palete dispuse în mai multe etaje. Datorită rotirii paletelor, forţa centrifugă face ca inelul de apă să fie menţinut coaxial cu carcasa pompei, el atingînd butucul paletelor în partea superioară şi lăsînd un spaţiu de forma unei seceri în partea inferioară. Aerul aspirat prin orificiile *3* este refulat prin orificiile *4*. Inelul de apă asigură etanşeitatea sistemului, apa circulînd între pompă şi rezervorul de recuperare în circuit închis. Prin rotirea rotorului excentric *2* al pompei rotative cu lamele (fig. 12.6.3), volumul camerelor închise între lamele şi carcasa *1* a pompei se micşorează, iar aerul este aspirat prin orificiul *3* şi refulat prin orificiul *4*. Pentru răcirea pompei se utilizează un curent de circulaţie de apă.

Compensatoarele îndeplinesc rolul de sistem tampon între betonul care se vacuumează şi pompa de vacuum, asigurîndu-se astfel uniformitatea regimului de vacuumare (fig. 12.6.4). Cele două camere ale compensatorului

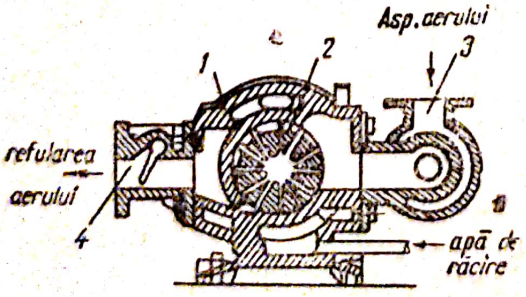


Fig. 12.6.3. Pompă de vacuum rotativă cu lamele:
1 — carcasă; *2* — axul cu lamele; *3* — gura de aspiraţie; *4* — gura de refulare.

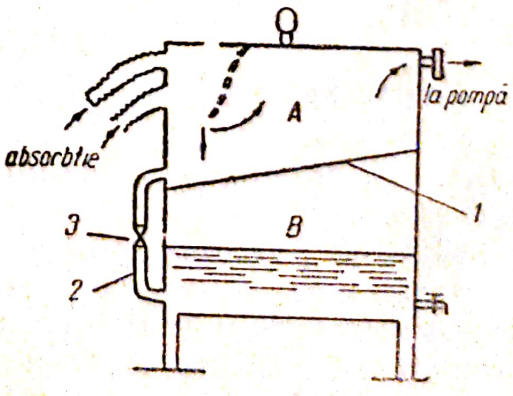


Fig. 12.6.4. Rezervor compensator pentru instalaţie de vacuumare:
1 — diafragmă; *2* — conductă de legătură; *3* — robinet.

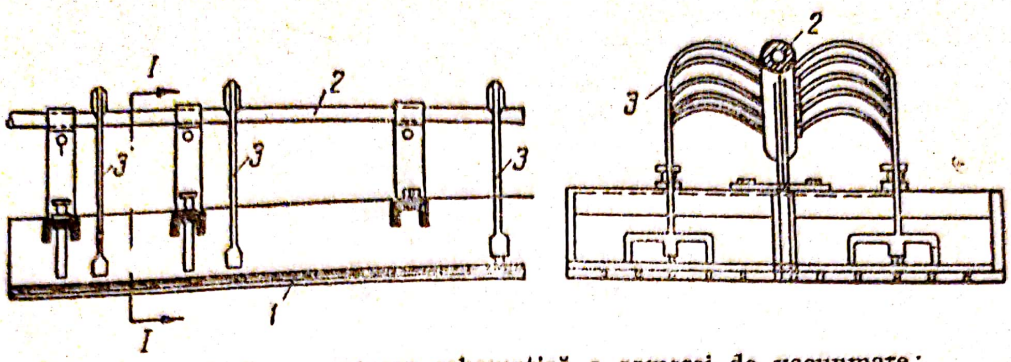


Fig. 12.6.5. Reprezentarea schematică a camerei de vacuumare:
1 — profile *U* sudate între ele; *2* — conductă colectoare; *3* — tuburi.

sînt separate printr-un perete 1, ele fiind puse în comunicație printr-o conductă 2 cu robinetul 3. În timp ce instalația funcționează, robinetul este deschis pentru ca apa extrasă din beton să se scurgă în camera inferioară. Cînd este necesară evacuarea apei, robinetul de legătură 3 se închide și se deschide robinetul de golire.

În principiu, camera de vacuumare (fig. 12.6.5) este formată din două profile *U* sudate între ele *1*. Longrinele sînt prevăzute în partea inferioară cu un număr de găuri (Φ 4 — 5 mm) care vin în legătură cu betonul ce urmează a fi vacuumat. La partea superioară, camera are o conductă, colectoare 2 care comunică cu compensatorul și rezervorul colector de apă.

Instalația de torcretat servește la injectarea mortarului de ciment pentru executarea straturilor subțiri de beton, pentru corectarea defectelor de turnare, pentru turnarea învelișurilor de beton autoportante și pentru refacerea, în general, a construcțiilor de beton deteriorate (fig. 12.6.6). Instalația cuprinde un aparat de torcretare *1*, un compresor *2*, un rezervor de apă *3*, un vas de curățire 4 a aerului și un injector *5*, cu furtunul respectiv. Funcționarea principială a instalației de torcretat este următoarea: cimentul și agregatele solide sînt amestecate în mașina de torcretat. Aerul comprimat produs de compresor este condus la aparatul de torcretat de

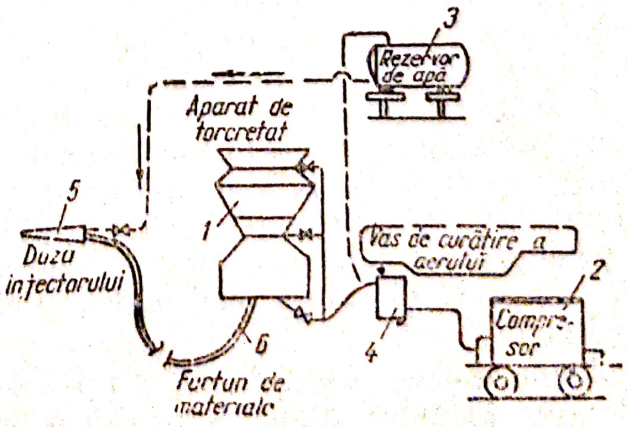


Fig. 12.6.6. Schema de lucru a aparatului de torcretat:
1 — aparatul de torcretat; *2* — compresor; *3* — rezervor de apă; *4* — vas de curățire a aerului; *5* — duza injectorului; *6* — furtun flexibil.

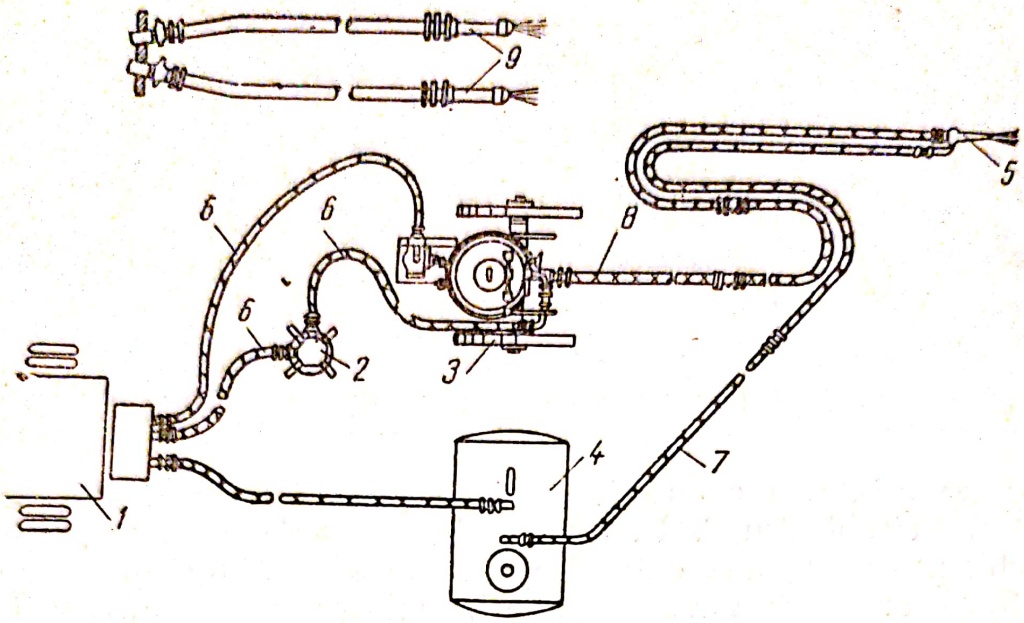


Fig. 12.6.7. Schema instalaţiei de torcretat:
1 — compresor; *2* — filtru de aer; *3* — maşină de torcretat; *4* — rezervor de apă; *5* — ajutaj; *6* — furtun pentru aer; *7* — furtun pentru apă; *8* — furtun pentru material; *9* — ajutaj pentru nisip.

unde transportă amestecul spre injector, în care materialele vin în contact cu apa care vine de la rezervor, formînd mortarul de ciment. În continuare, tot sub acţiunea aerului comprimat, mortarul este proiectat pe suprafaţa care urmează a fi lucrată cu ajutorul injectorului aparatului de torcretat.

Acţionarea maşinii de torcretat *S*165 (fig. 12.6.7) se face de la un compresor de aer de circa 5 m³/min, la o presiune de 3 at, prin intermediul unui motor pneumatic de *2* CP şi a unei transmisii cu şurub-melc. Amestecul uscat se încarcă în camerele *2* şi *3*, se închid capacele *4* şi *5* şi se porneşte alimentatorul *6* şi agitatorul *7* cu ajutorul motorului pneumatic. Sub acţiunea aerului comprimat, sosit prin orificiul *9*, şi al mişcării alimentatorului *6*, amestecul uscat este expulzat cu viteză prin orificiul 8. Pentru menţinerea continuităţii în lucru, după consumarea conţinutului camerelor *3*, se deschide capacul *5*, ceea ce permite materialului din camera de încărcare *2* să treacă la rîndul său în camera *3*, se reînchide capacul *5* şi se continuă lucrul. Între timp se deschide capacul *4* şi se reîncarcă camera *2*. Jetul de amestec uscat care intră în furtun prin orificiul *8*, este dirijat spre ajutajul *5*, unde se amestecă ca apa sosită sub presiune de la rezervorul *4* prin furtunul *7*, amestecul astfel realizat fiind proiectat cu viteza de (80—200) m/s pe suprafaţa care se torcretează de la circa 1 m distanţă, formînd un strat compact, de mare rezistenţă şi impermeabilitate mare, gros de 1,5—2 cm.

Problemele care se pun în cazul torcretării se referă mai mult la realizarea unor agregate avînd dimensiuni sub (8—10) mm, iar, în ceea ce priveşte

distanța de transport de la instalația de torcretat la injector, se recomandă a nu se depăși 150 m pe orizontală sau 50 m pe verticală, din motive de scăderea prea mare a presiunii amestecului de mortar.

În cazul cînd este necesar să se realizeze grosimi mai mari de 2 cm a straturilor torcretate, se va proceda la acoperiri în mai multe reprize.

12.6.2 **Mașini pentru baterea piloților.** Mașinile pentru baterea piloților fac parte din grupa mașinilor pentru lucrări de fundații. Clasificarea lor, în funcție de particularitățile procesului tehnologic îndeplinit, precum și domeniile de utilizare pot fi urmărite în tabela 12.6.1, în timp ce în figura 12.6.8 sînt reprezentate schemele lor principiale.

Vibratoarele pentru piloți au cîștigat în ultimul timp din ce în ce mai mult teren, datorită construcției și funcționării simple, constatîndu-se, în plus,

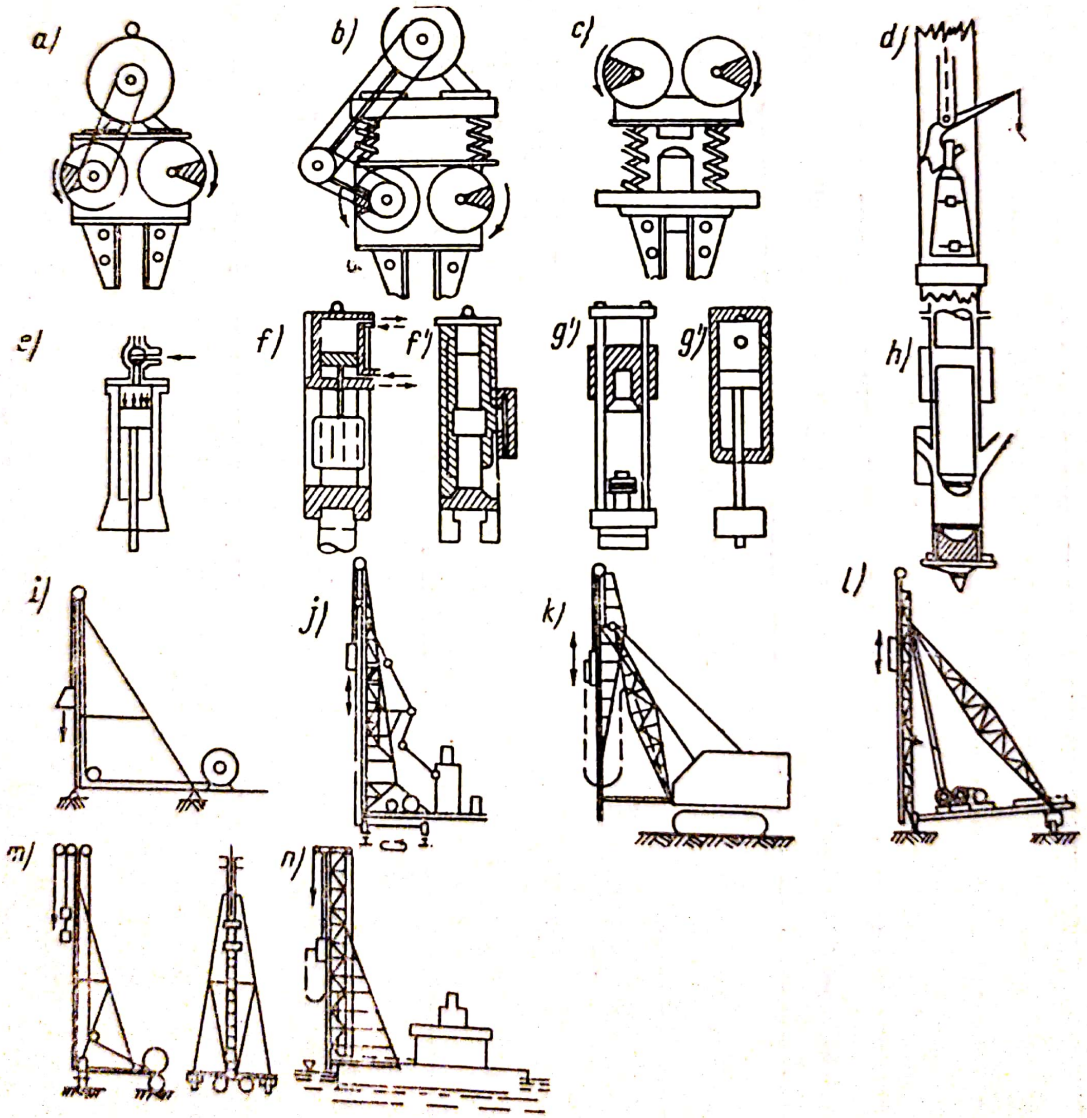


Fig. 12.6.8. *a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n* — Mașini pentru lucrări de fundații. Vibratoarele, berbecii și sonetele.

Tabela 12.6.1.

Mașini și instalații pentru lucrări de fundații. Vibratoarele, berbecii și sonetele. Clasificarea și domeniul de utilizare

Criteriul clasificării	Grupa	Subclasificare	Denumirea			Schema	Domeniul de utilizare
După particularitățile procesului tehnologic îndeplinit	Mașini pentru introducerea piloților și palplanșelor	După modul de funcționare	Vibratoare pentru înfigerea piloților și palplanșelor	După sistemul constructiv	Vibratoare cu fixare rigidă pe element (cu acțiune axială sau axial-torsională), și fixare rigidă a motorului	Fig. 12.6.8. *a*	Înfigerea prin vibrare a piloților, palplanșelor și conductelor, în terenuri nisipoase, pământuri saturate cu apă și chiar în argile afînate-adîncimea de înfigere circa 15 m — etc.
					Vibratoare cu fixare rigidă, cu acțiune axială și fixare elastică a motorului	Fig. 12.6.8. *b*	Idem; extragerea piloților și palplanșelor.
				După modul de acțion.	Vibratoare axiale cu percuție (berbeci vibratori)	Fig. 12.6.8. *c*	Înfigerea prin batere sau vibrare și batere simultană a piloților, palplanșelor și conductelor în terenuri nisipoase, saturate cu apă și în argile ușoare.
					Vibratoare electrice	—	Înfigerea piloților, palplanșelor și conductelor pe șantierele unde se dispune de energie electrică. Sînt cele mai răspîndite
					Vibratoare Diesel-electrice	—	Idem, pe șantierele care nu dispun de energie electrică, sau la agregatele rapide mobile
			Berbeci pentru baterea piloților	După sist. constructiv	Vibratoare electro-magnetice	—	Sînt mai puțin răspîndite în construcții.
					Berbeci cu cădere liberă (cu, sau fără dispozitiv de prindere)	Fig. 12.6.8. *d*	Înfigerea piloților prin batere în cazul lucrărilor de întreținere și reparații. Greutatea berbecului 0,1...2,5 tf, înălțimea de cădere 1...3m, numărul de lovituri pe minut 3..4 pentru berbecii cu declanșator și 10 la cei fără declanșator

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.6.1. (continuare)

1	2	3	4				5	6
După particularitățile procesului tehnologic îndeplinit	Mașini pentru introducerea piloților și palplanșelor	După modul de funcționare	Berbeci (ciocane) pentru baterea piloților și palplanșelor	După sistemul constructiv	Berbeci cu abur-aer comprimat	Cu acțiune simplă	Fig. 12.6.8. e	Baterea piloților și palplanșelor în terenuri tari
						Cu acțiune dublă	Fig. 12.6.8. f și f′	Baterea piloților și palplanșelor cu lungimea de pînă la 250 cm, vertical sau înclinat, în aer sau sub apă, extragerea piloților, compactarea terasamentelor
					Berbeci Diesel	Cu bare de ghidare	Fig. 12.6.8. g și g′	Baterea piloților și palplanșelor în terenuri mai puțin consistente (argile moi, nisipuri). Sînt contraindicați în pietrișuri bolovani, argile tari.
						Tubulari	Fig. 12.6.8. h	Idem, au răspîndire mare, uzură mică, se defectează mai rar
				După tipul sistemului de comandă și distribuție		Berbeci cu distribuție manuală	—	Baterea palplanșelor și piloților la lucrări cu volum mic
						Berbeci semiautomați	—	Baterea palplanșelor și piloților în terenuri mai tari, la lucrări cu volum mediu
						Berbeci automați cu distribuție obișnuită sau diferențială	—	Baterea palplanșelor și piloților de lungimi mari, vertical sau înclinat, la lucrări cu volum mare
			Sonete	După sistemul constructiv și poziția piloților		Sonete fixe	Fig. 12.6.8. i	Susținerea, manevrarea, ghidarea berbecilor, vibratoarelor, palplanșelor sau piloților în decursul operațiilor de înfigere a palplanșelor și piloților verticali, izolați. Înălțimea sondei variază între 12 și 20 m.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.6.1. (continuare)

1	2	3	4			5	6
După particularitățile procesului tehnologic îndeplinit	Mașini pentru introducerea piloților și palplanșelor	După modul de funcționare	Sonete	După sistemul constructiv și poziția piloților	Sonete universale	Fig. 12.6.8. j	Idem, în decursul lucrărilor de batere a palplanșelor și a piloților verticali sau înclinați, așezați în grupuri; înclinare înainte 1/10, înclinare înapoi 1/3, înclinare laterală 1/20, rotirea sonetei 360°; înălțimea sonetei nu depășește 70 m.
					Sonete macara-le	Fig. 12.6.8. k	Idem, înălțimea sonetei nu depășește 15 ...20 m;
				După natura echipamentului de forță	Sonete mecanice	Fig. 12.6.8.	Susținerea și manevrarea palplanșelor și a piloților verticali și acționarea berbecilor în timpul operației de batere
					Sonete cu abur-aer comprimat	Fig. 12.6.8. j și h	Susținerea, manevrarea și baterea piloților verticali și acționarea lor în terenuri tari, așezați în grupuri.
					Sonete Diesel	Fig. 12.6.8. m	Idem, la baterea piloților și palplanșelor, în argile moi și nisipuri. Nu necesită alimentarea cu energie electrică, abur sau aer comprimat
				După particul. mecanice de deplasare	Sonete pe roți sau șenile	Fig. 12.6.8. j m, k	Înfigerea piloților și palplanșelor mari, vertical sau înclinat, la lucrări cu volum mare, pe șantierele de construcții civile și industriale

Scanned with OKEN Scanner

și faptul că ele lucrează mult mai bine decît celelalte mașini (berbeci, sonete) în cazul pămînturilor nisipoase sau înmuiate de apă. În figura 12.6.8.*a* și 12.6.8.*b* sînt prezentate vibratoarele pentru piloți cu electromotorul prins rigid, respectiv cu electromotorul amortizat. Cea de a doua soluție duce la mărirea duratei de funcționare a vibratorului, întrucît vibrațiile și loviturile corpului vibratorului, produse pe baza unei roți cu excentric antrenată de electromotor, nu se transmit direct electromotorului, ci sînt amortizate de către resoartele de susținere.

Vibratorul cu amortizare din figura 12.6.8. *c*, are în plus avantajul că adîncirea piloților nu se realizează numai prin vibrare, ci și în urma loviturilor pe care ciocanul *2* le dă pe nicovala *3*, aceasta ducînd la scurtarea duratei de batere a piloților.

În funcție de principiul constructiv și funcțional, berbecii pentru baterea piloților pot fi: cu acținne simplă, cu acțiune dublă și Diesel. Berbecii cu acțiune simplă (fig. 12.6.19), acționați manual, se compun din berbecul propriu-zis, în greutate de 400—6000 kg, compus dintr-un cilindru *1*, masiv în partea inferioară, în interiorul căruia este fixat un piston *2*. Aerul intrînd sub piston, va ridica cilindrul dîndu-i o anumită energie potențială care eliberată, în momentul cînd muncitorul deschide supapa comandată de pîrghia *7*, se va transforma în energie cinetică, berbecul în cădere lovind pilotul respectiv. La berbecii cu acțiune dublă (fig. 12.6.10), forța aburului este folosită atît la ridicare, cît și la coborîre pentru a amplifica forța loviturii de (3—10) ori, fără a se mări masa berbecului sau cursa lui. Totodată, prin automatizarea distribuirii aburului prin supapele de dedesuptul, respectiv de deasupra pistonului, se poate realiza o frecvență de 400—600 lovituri/minut. În ultima vreme însă se utilizează din ce în ce mai mult berbecii Diesel, cu un randament superior față de berbecii analizați anterior, în special datorită eliminării pierderilor prin conducte. Ei pot fi de trei tipuri, cu o tijă, cu două și cu trei tije de ghidare, dintre acestea cel mai des folosit fiind berbecul Diesel cu două tije de ghidare (fig. 12.6.11). El este alcătuit din talpa *1* care are două bare *2* pe care alunecă piesa de șoc *3*, susținerea și desprinderea acestei piese făcîndu-se prin intermediul pisicii *4*, ce se declanșează cu cablul *10*. Barele sînt susținute în partea superioară prin traversa 11. Deasupra tălpii se află pistonul cu segmenții de etanșare *7*, care este prevăzut cu pompa de injecție *8*. Cînd piesa de șoc cade asupra pistonului, compresia care ia naștere acționează asupra tachetului *9* care comandă pompa de injecție, care, la rîndul ei, va pulveriza în golul piesei de șoc o anumită cantitate de motorină. Aceasta, prin explozie va face ca piesa de șoc să fie aruncată în sus în lungul glisierelor, parcurgînd o distanță, funcție de inerția piesei, după care ea cade asupra pilotului, moment în care ciclul se repetă.

Prin sonetă se înțelege ansamblul instalației care asigură susținerea și funcționarea berbecilor. Ele pot fi fixe sau telescopice. Sonetele fixe (fig. 12.6.8.*i)* se folosesc pentru baterea piloților verticali avînd înălțimi relativ reduse și nu permit baterea piloților și sub nivelul de așezare al lor, în timp ce sonetele telescopice (fig. 12.6.8. *j*) permit, datorită construcției speciale,

Scanned with OKEN Scanner

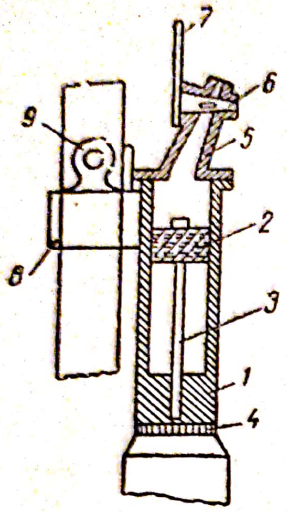


Fig. 12.6.9. Berbec cu acţiune simplă:
1 — cilindru; *2* — piston; *3* — tija pistonului; *4* — pernă metalică; *5* — capac; *6* — robinet cu două căi; *7* — pîrghie de comandă; *8* — dispozitiv de prindere a berbecului pe sonetă; *9* — ureche de fixare.

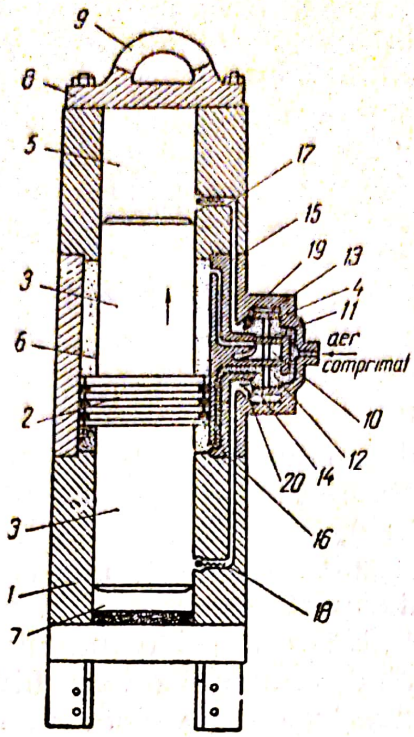


Fig. 12.6.10. Berbec cu acţiune dublă:
1 — cilindru; *2* — piston; *3,3'* — tijele pistonului; *4* — sertăraş; *5, 6, 7* — intervale delimitate de piston; *8* — capac; *9* — ochi de susţinere; *10* — spaţiu de comunicare cu aerul; *11, 12* — spaţii cu aer comprimat; *13, 14* — intervale prin care se realizează mişcarea automată a sertăraşului; *15, 16, 17, 18, 19, 20* — canale de comunicare.

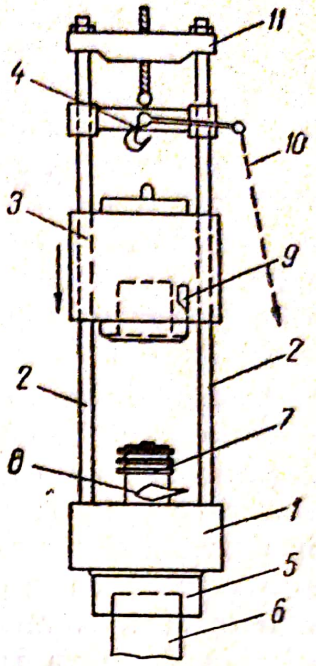


Fig. 12.6.11. Berbec Diesel:
1 — talpă; *2* — glisiere; *3* — piesa de şoc; *4* — pisică; *5* — piesă scobită; *6* — pilotul; *7* — segmenţi de etanşare; *8* — pompa de injecţie; *9* — tachet; *10* cablu; *11* — traversă de susţinere.

acest lucru. În principiu, soneta telescopică de construcţie românească, cu berbec Diesel, este alcătuită dintr-o fermă de ţevi, demontabilă, o lumînare de ghidaj şi un troliu manual pentru ridicarea berbecului.

Problemele fundamentale de calcul se referă la stabilirea parametrilor de bază ai vibratoarelor şi berbecilor, necesari pentru alegerea şi folosirea raţională a acestor utilaje, în condiţii de şantier date, sau pentru proiectarea lor, precum şi la dimensionarea şi asigurarea stabilităţii sonetelor.

În tabele se dau formulele de calcul ale parametrilor de bază ai vibratoarelor şi berbecilor. Valorile rezistenţei specifice laterale τ_d, în momentul desprinderii elementului, la smulgere statică, şi valorile recomandate ale amplitudinilor, necesare sistemului de vibrare se dau de asemenea în tabele ca şi valorile presiunii minime p_0, necesare pentru înfigerea la adîncimi curente, între 8—12 metri. Dimensionarea sonetelor se face la acţiunea concomitentă a greutăţii pilotului şi a echipamentului de înfigere. Pentru calculul eforturilor în bare, greutatea proprie a construcţiei metalice a

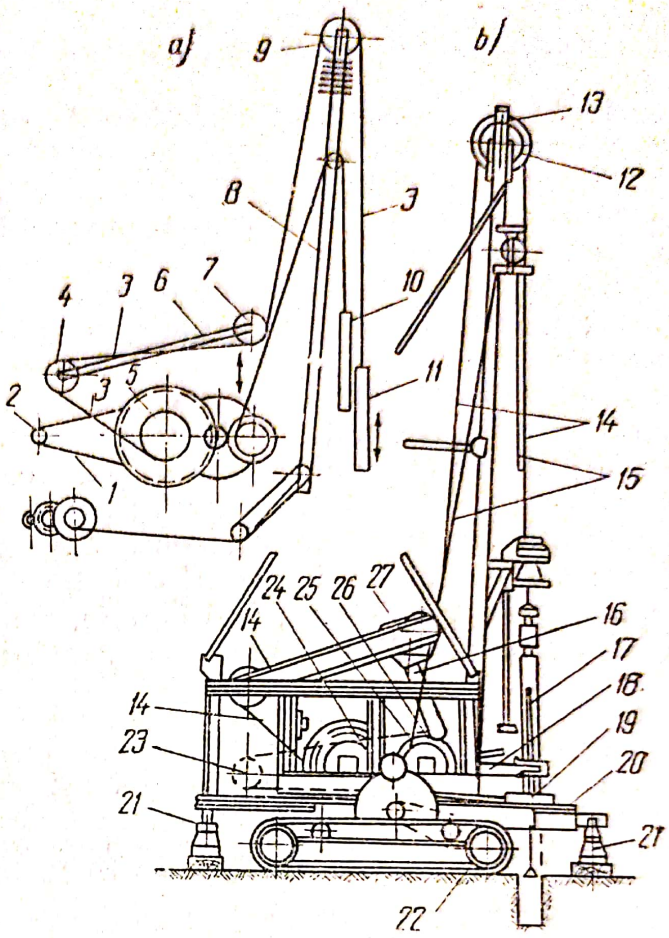


Fig. 12.6.12. Maşina de forat *BU* 20 — 2:
a — schema cinematică; *b* — vedere laterală; *1* — transmisie prin curea; *2, 23* — motor; *3,14* — cablul mecanismului de percuţie; *4, 9, 12* — scripeţi; *5, 24* — tamburul mecanismului de percuţie; *6, 27* — balansier; *7* — scripete; *8, 13* — catarg; *10* — lingură de licărit; *11, 17* — sculă de percutoare; *15* — cablul mecanismului de manevrare a lingurii; *16* — bielă; *18* — pîrghie de comandă; *20* — platformă; *21* — tălpi de fixare; *22* — mecanismul de deplasare; *25* — tamburul mecanismului de manevrare a lingurii; *26* — mecanismul de acţionare al balansierului; *19* — mecanismul pentru înşurubarea şi deşurubarea dispozitivului de forare.

sonetei se consideră acţionînd în noduri, ca la calculul grinzilor cu zăbrele. Dimensionarea se face cu ajutorul formulelor uzuale, utilizate la calculul construcţiilor metalice. În cazul sonetelor din lemn, problema dimensionării se rezolvă, în majoritatea cazurilor, constructiv.

12.6.3. **Maşini de forat.** Echipamentul de lucru al unei maşini de forat (fig. 12.6.12) este alcătuit dintr-o garnitură de scule avînd o greutate cuprinsă între 500 şi 3000 kgf (catarg şi mecanismele respective). Sistemul de transmisii este mecanic. Echipamentul de forţă este alcătuit dintr-un motor electric, mai rar cu ardere internă. Din punct de vedere cinematic, maşina este alcătuită din cinci mecanisme: mecanismul de ridicare percutoare, mecanismul de producere a percuţiilor, mecanismul de manevrare a dispozitivelor de forare, mecanismul de acţionare a lingurii de licărit şi mecanismul de deplasare al maşinii. După fixarea maşinii pe locul unde se execută forarea, cu ajutorul tălpilor de fixare, se potriveşte scula percutoare la adîncimea necesară cu ajutorul mecanismului de ridicare-coborîre a sculei şi se începe operaţia de percutare. Evacuarea materialului dislocat se execută periodic, cu ajutorul mecanismlui de manevrare a lingurii pentru licărit.

Scanned with OKEN Scanner

12.7. DISPOZITIVE ȘI SCULE DE MICĂ MECANIZARE

12.7.1. Dispozitive de deplasare și ridicare a unor materiale. Dintre dispozitivele de mică mecanizare, folosite pentru deplasarea sau ridicarea materialelor, se utilizează frecvent electrocarele.

Conform destinației lor, ele se împart în electrocare platformă și electrocare stivuitoare.

Electrocarul platformă se compune dintr-un șasiu pe care sînt montate: pe puntea din față, platforma de conducere și platforma propriu-zisă de transport a materialelor; pe puntea din spate, sistemul diferențial și motorul electric de acționare. În figura 12.7.1 este prezentată schema electrică de comandă și acționare a unui electrocar platformă. O dată cu închiderea contactului *6*, care se produce prin apăsarea pedalei de picior, se alimentează următorul circuit: (+) baterie, contact *6*, contact *1* deschis, rezistența *10*, excitație E_1, contact *3*, excitație *2*, contact *4* se deschide, contact *7* se închide, borna A_1' a motorului, borna A_2 a motorului, contact *9* închis, contact *5* deschis, (—) baterie, realizînd astfel viteza *I* de deplasare a electrocarului. Prin închiderea contactului *1*, ceea ce se realizează prin

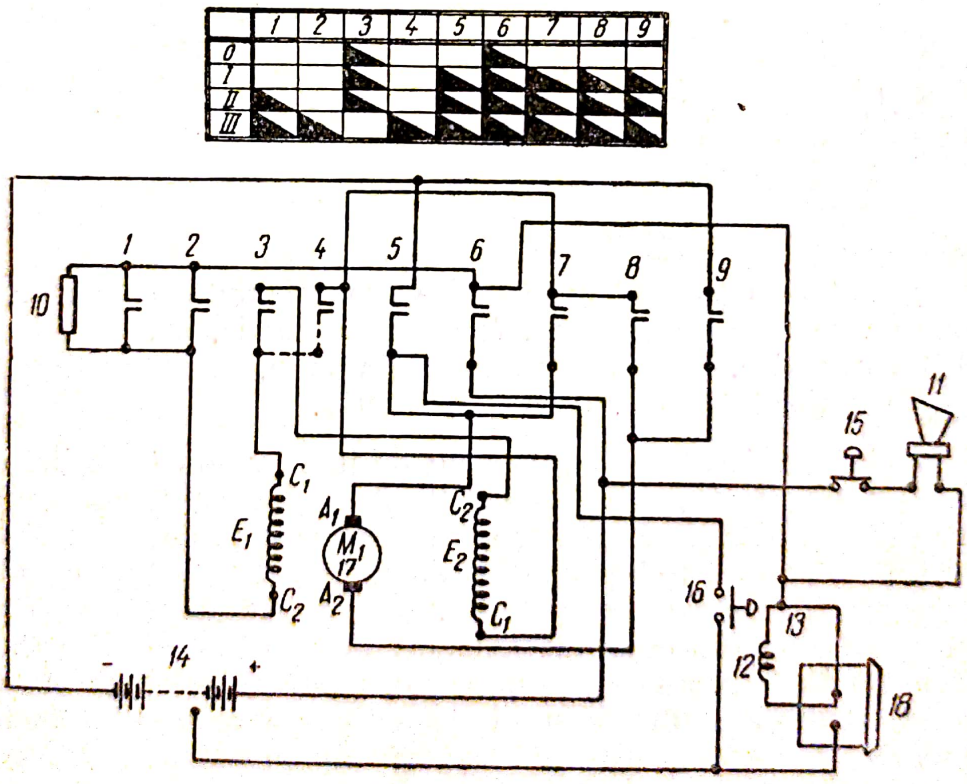


Fig. 12.7.1. Schema electrică și de acționare a unui electrocar platformă:
1 — 9 — contactele controlerului; *10* — rezistență de pornire; *11* — hupă; *12* — electromagnet de reținere; *13* — circuitul de blocare de la pornire de la poziția controlerului; *14* — bateria de acumulatori; *15* — întrerupător de claxon; *16* — întrerupătorul electromagnetului de reținere; *17* — motor de acționare de c.c; *18* — sistem de blocare prin pedală de picior; E_1, E_2 — excitațiile motorului de acționare.

Scanned with OKEN Scanner

deplasarea manetei controlerului, se şuntează rezistenţa *10*, obţinîndu-se viteza a *II*-a. Închizînd în plus şi contactele *2* şi *4* şi deschizîndu-l pe *3*, se şuntează şi excitaţia E_2, realizînd viteza a *III*-a.

Deplasînd maneta în sens contrar, contactul *6* rămînînd închis, circuitul de alimentare va fi: (+) baterie, contact *6*, contact *1* deschis, rezistenţa *10*, excitaţie E_1, contact *3* închis, excitaţie E_2, contact *4* deschis, contact *7* deschis, contact *8* închis, borna A_2 a motorului, borna A_1 a motorului, contact *5* închis, (—) baterie.

Prin închiderea contactului *1* se şuntează rezistenţa *10* obţinîndu-se viteza a *II*-a, iar în plus prin închiderea contactelor *2* şi *4* şi deschiderea lui *3* se elimină şi excitaţia E_2 realizînd viteza a *III*-a.

În vederea ridicării materialelor de (0,5—0,7) tone pînă la o înălţime de cel mult *3* metri, se utilizează electrocarele stivuitoare. Deosebirile acestora faţă de electrocarele platformă, se referă la destinaţia şi modul de prindere al materialelor. Dispozitivele de prindere ale electrocarelor stivuitoare au forme de furcă, cupă, plasă, sau un sistem de prindere cu lanţuri. Aceste dispozitive sînt montate pe un cadru, care, printr-un sistem hidraulic, poate executa două mişcări: una de deplasare verticală şi una de basculare (de înclinare faţă de verticală).

Motorul electric de acţionare, de putere (2 ÷ 5) kw, serveşte la deplasarea electrocarului, precum şi la punerea în funcţiune a sistemului hidraulic de deplasare a cadrului. În cazul folosirii a două motoare de puteri mai mici, unul serveşte la deplasarea electrocarului, iar al doilea la ridicarea sarcinii.

Productivitatea electrocarelor se calculează cu relaţia:

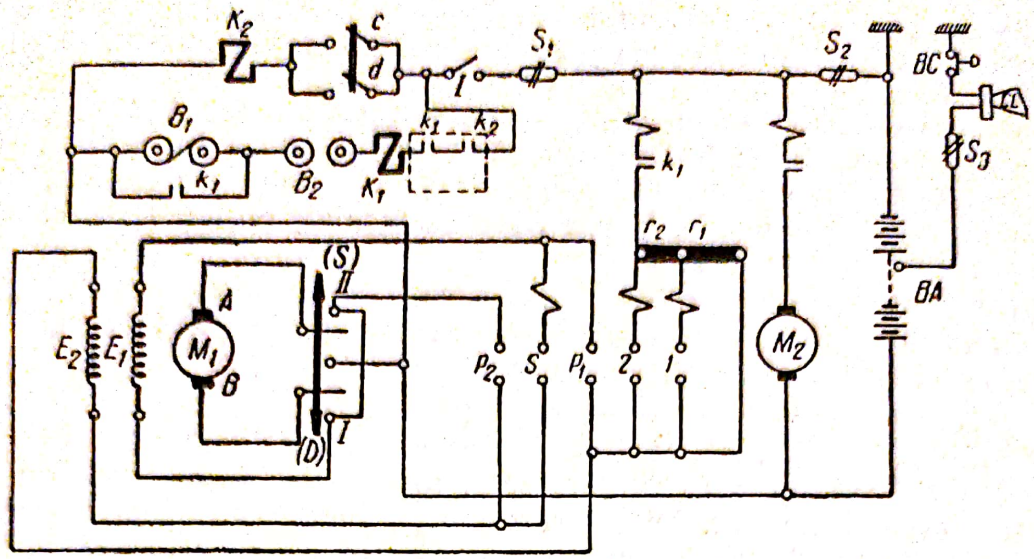
$$Q = 60 \frac{g}{t_c} \qquad [\text{t/h}] \qquad (12.7.1)$$

în care: g este greutatea sarcinii transportate sau ridicate (tone); t_c este durata unui ciclu (ore).

În figura 12.7.2 este prezentată schema de acţionare şi comandă a unui electrocar stivuitor. Controlerul are doi tamburi principali şi un inversor. Pe tamburul principal sînt prevăzute cinci poziţii de comutare, ceea ce permite obţinerea a patru viteze, astfel: viteza I pentru porniri şi manevre scurte; viteza a II-a pentru viraje scurte şi locuri înguste; viteza a III-a pentru pante mari şi viteza a IV-a pentru regim normal de lucru.

Mecanismul hidraulic de deplasare a cadrului, constă dintr-o pompă cu piston de cca 65 kgf/cm², cu un debit de (5825)/min, la o turaţie de 950 rot/min. Viteza de ridicare variază şi ea între (4—20) m/min. Înclinările cadrului pot fi între (—3, +10)°.

12.7.2. **Unelte şi dispozitive folosite la lucrările de finisare.** Necesitatea utilizării maşinilor de mică mecanizare în lucrările de finisare ale construcţiilor, este strîns legată de creşterea productivităţii muncii, de reducerea preţului de cost şi de ridicarea calităţii acestor lucrări. După particularită-



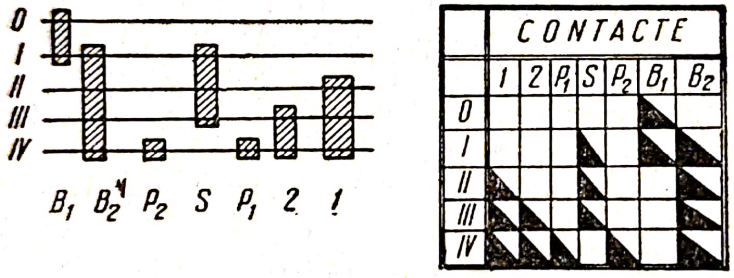


Fig. 12.7.2. Schema electrică și de acționare a unui electrocar stivuitor:
I — întrerupător; S_1, S_2, S_3 — siguranțe; M_1 — motorul de acționare; M_2 — motor auxiliar pompă; *P* — priză de pământ; *BC* — buton conectare; *BA* — baterie de acumulatori; *CL* — pedală de picior; K_1 — contact; K_2 — bobină; B_1, B_2 — întrerupătoare; k_1, k_2 capacități; r_1, r_2 — trepte de rezistență.

țile procesului tehnologic îndeplinit, utilajele pentru lucrările de finisaj se clasifică în patru categorii, conform figurii 12.7.3 și tabelei 12.7.1 (cu specificația că domeniul de utilizare al fiecărei mașini menționate în tabela 12.7.1 își are corespondentul grafic în figura 12.7.3).

În continuare se vor prezenta principiile constructive ale principalelor utilaje pentru finisări în construcții.

a) Mașini și unelte mecanizate la lucrări de tencuieli. 1) *Malaxoarele.* Malaxoarele servesc în industria construcțiilor la prepararea mortarelor cu lianți hidraulici (mortare de ciment, mortare de var) sau cu lianți bituminoși.

Din punct de vedere constructiv, malaxoarele se împart în: malaxoare cu palete de amestec (cu tobă basculantă și cu tobă fixă) și malaxoare cu valțuri alergătoare.

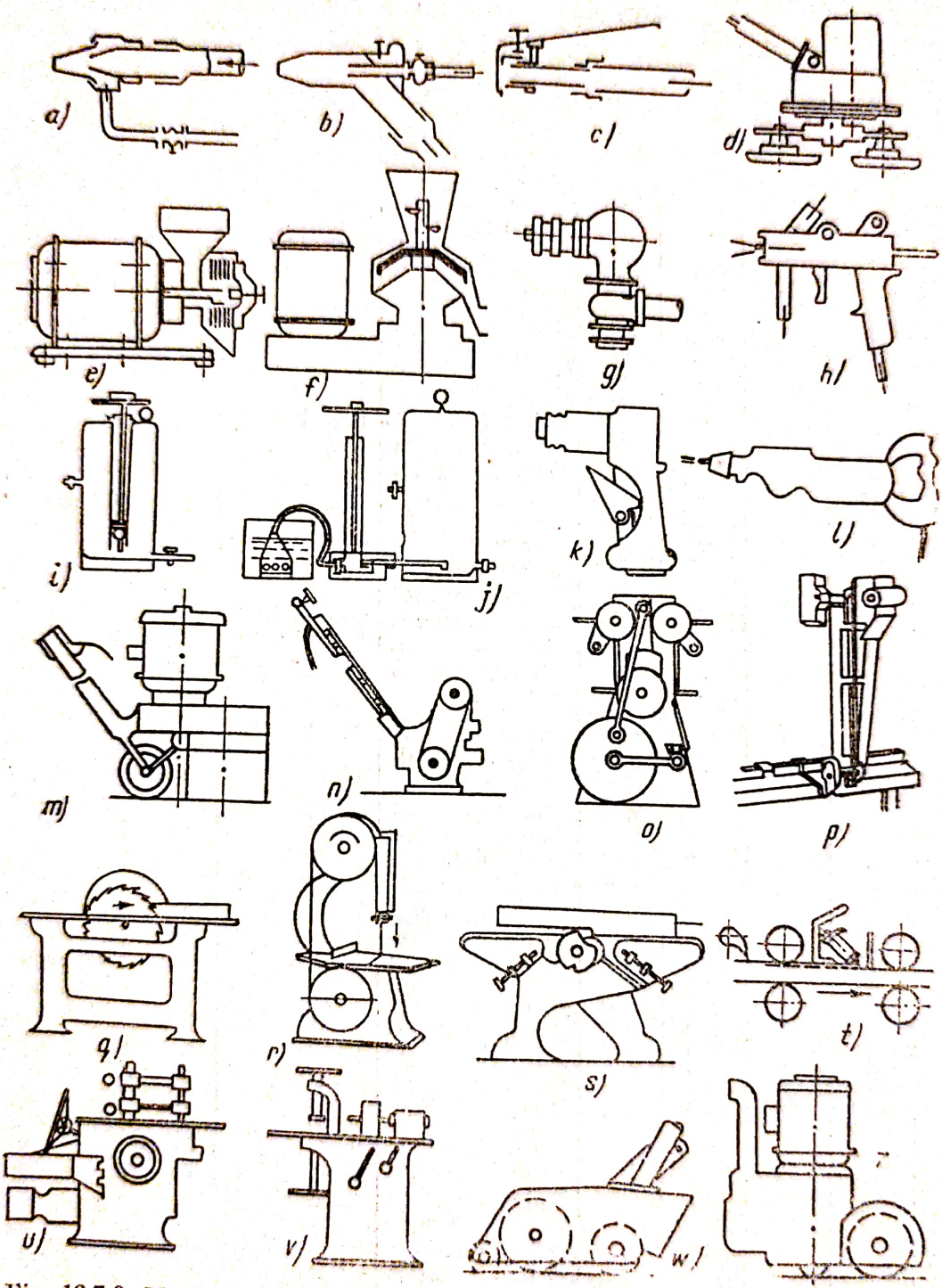


Fig. 12.7.3. Mașini și unelte mecanizate pentru lucrări de finisaj în construcții.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.7.1

Maşini şi unelte mecanizate pentru lucrări de finisaj de construcţii; clasificarea şi domeniul de utilizare

Criteriul de clasificare	Denumirea grupei	Criteriul subclasificării	Denumirea maşinii			Schema	Domeniul de utilizare
1	2	3	4			5	6
După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Maşini, unelte, agregate şi instalaţii pentru lucrări de tencuieli	După sistemul constructiv şi destinaţia maşinii	Injectoare pentru aplicarea mortarului	După modul de admisie al aerului	Injectoare cu admisia inelară a aerului	Fig. 12.7.3 *a*	Aplicarea mecanică a mortarelor, cuplate cu productivitate ridicată
					Injectoare cu admisia centrală a aerului	Fig. 12.7.3. *b*	Aplicarea mecanică a mortarelor, cuplate cu pompe de mortar cu productivitate 1... ...1,5 mc/h (la lucrările unde se cere o pulverizare bună a jetului de mortar)
					Injectoare fără aer comprimat (cu curent direct sau centrifuge)	Fig. 12.7.3. *c*	Aplicarea mecanică a mortarelor fără aer comprimat (compresor)
			Agregate mobile de tencuit		Agregate mobile prevăzute cu pompe de mortar cu sau fără diafragmă	—	Executarea mecanizată a lucrărilor de tencuieli la construcţiile de locuinţe cu volum redus
			Instalaţii complexe de tencuit	După gradul de mobilitate	Instalaţii fixe	—	Executarea mecanizată a tencuielilor la lucrări cu volume mari
					Instalaţii mobile	—	Executarea mecanizată a lucrărilor de tencuieli în construcţii cu puţine etaje (la care mutările dese ale instalaţiilor fixe nu sînt economice)
			Maşini de drişcuit	După destinaţie	Maşini ptr. drişcuit pereţi	Fig. 12.7.3. *d*	Drişcuirea pereţilor
					Maşini ptr. drişcuirea tavanelor	—	Drişcuirea tavanelor

Tabela 12.7.1 (continuare)

1	2	3	4			5	6
După particularităţile procesului tehnologic îndeplinit	Maşini, unelte şi aparate pentru lucrări de zugrăveli şi vopsitorii	După sistemul constructiv şi destinaţia maşinii	Maşini şi aparate pentru aplicarea coloranţilor şi a vopselelor	După constr. injectorului	Injectoare centrifuge	Fig. 12.7.3. *g*	Aplicarea vopselelor de apă
					Injectoare pneumatice de înaltă sau joasă presiune	Fig. 12.7.3. *h*	Aplicarea vopselelor şi a chiturilor pe suprafeţele de finisat
				După regimul de funcţionare	Aparate de zugrăvit cu acţionare periodică	Fig. 12.7.3. *i*	Zugrăvirea tavanelor şi pereţilor cu vopsele subţiri de apă şi cretă şi a faţadelor cu compoziţii de var, la lucrări cu volum mic
					Aparate de zugrăvit cu funcţionare continuă	Fig. 12.7.3. *j*	Idem, la lucrări mai mari
				După modul de acţionare	Aparate de vopsit manuale	Fig. 12.7.3. *i* şi *j*	Zugrăveli la pereţi şi tavane, la lucrări cu volum mic
					Maşini de vopsit electrice	Fig. 12.7.3. *j* modif.	Idem, la lucrări mari, dacă este asigurată alimentarea cu energie electrică
			Maşini pt. pregătirea suprafeţelor	După destinaţie	Maşini pentru şlefuirea suprafeţelor	Fig. 12.7.3. *n*	Nivelarea şi curăţirea suprafeţelor de pete, vopsele vechi, oxizi, etc.
					Maşini pentru aplicarea chitului	—	Chituirea suprafeţelor elementelor prefabricate de beton armat înainte de vopsire, chituirea tavanelor, pereţilor, etc.
			Maş. pt. frecat vopsele	După principiul de fun.	Mori cu distribuţie	Fig. 12.7.3. *e*	Frecarea vopselelor împreună cu dizolvanţii
					Mori cu valţuri	Fig. 12.7.3. *f*	La fabricarea lacurilor (în fabricile de vopsele).

Tabela 12.7.1. (continuare)

1	2	3	4				5	6
După particularitățile procesului tehnologic îndeplinit	Mașini și unelte mecanizate pentru finisajul pietrei și al betoanelor	După sistemul constructiv și destinația mașinii	Ciocane pentru finisajul mărunt al pietrei și betoanelor	După modul de acționare		Ciocane pistol pneumatice, cu daltă	Fig. 12.7.3 *h*	Executarea lucrărilor de finisaj mărunt al pietrei
						Ciocane electrice	Fig. 12.7.3 *l*	Prelucrarea pietrei și a materialelor confecționate din piatră (betoane) executarea găurilor în cărămidă etc.
			Mașini pentru finisajul pardoselilor de piatră-beton	După destinație		Mașini pentru șlefuit mozaic	Fig. 12.7.3 *m*	Prelucrarea pardoselilor de mozaic turnat, platformelor de scări, pervazurilor, pardoselilor din plăci de mozaic etc.
						Mașini pentru drișcuit și sclifisit suprafața pardoselilor și a îmbrăcăminților de beton	Fig. 12.7.3 *n*	Finisajul suprafeței pardoselilor și a îmbrăcăminților de beton, după turnarea și îndesarea stratului superficial cu ajutorul vibratoarelor de suprafață
	Mașini și unelte mecanizate pentru finisajul lemnului		Mașini pentru tăierea lemnului	După caracterul mișcării organului de lucru	Mașini de tăiat cu mișc. cont.	Mașini de tăiat cu mișcare alternativă (gatere) cu unul sau două etaje	Fig. 12.7.3 *o*	Tăierea grinzilor. Gaterele cu un etaj se utilizează la instalațiile provizorii ; gaterele cu două etaje se utilizează în fabricile de cherestea
						Ferăstraie pendulare cu disc circular	Fig. 12.7.3	Tăierea transversală a scîndurilor și grinzilor
						Ferăstraie cu disc circular pentru tăiere în lungime	Fig. 12.7.3 *q*	Tăierea longitudinală a grinzilor. Tăierea bușteni lor. Tăierea preliminară a grinzilor la intrarea în gatere
						Ferăstraie cu panglică verticală	Fig. 12.7.3	Tăierea longitudinală sau profilată a lemnului

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.7.1 (continuare)

1	2	3	4		5	6
După particularitățile procesului tehnologic îndeplinit	Mașini și unelte mecanizate pentru finisajul lemnului	După sistemul constructiv și destinația mașinii	Mașini pentru prelucrarea lemnului	După destinație	Mașini de geluit (îndreptat)	Fig. 12.7.3 *s*	Îndreptarea materialului lemnos numai pe o singură față (scînduri și grinzi)
					Mașini de rectificat	Fig. 12.7.3 *t*	Rindelarea pieselor de dimensiuni date și realizarea unor suprafețe paralele (geluite pe o față sau pe ambele fețe)
					Mașini de rindelat	—	Prelucrarea pieselor la grosimea cerută, concomitent pe 2...4 fețe. Rindelarea profilată
					Mașini de frezat	Fig. 12.7.3 *u*	Rindelarea netedă sau profilată, fălțuirea scîndurilor, rectificarea perimetrului ramelor ferestrelor, lucrări de cepuire etc.
					Mașini de găurit	Fig. 12.7.3	Executarea găurilor și a scobiturilor necesare pentru diferite îmbinări
					Mașini universale	—	Tăierea longitudinală, tăierea transversală, frezarea și tăierea cepurilor. Pe arborele mașinii se pot monta diferite unelte (disc, freză, burghiu)
			Mașini pentru finisarea pardoselilor	După gradul de finisare	Mașini pentru rindelat parchet	Fig. 12.7.3 *w*	Nivelarea parchetelor noi sau vechi
					Mașini pentru șlefuit parchetului	Fig. 12.7.3	Șlefuirea parchetului după rindelare

Scanned with OKEN Scanner

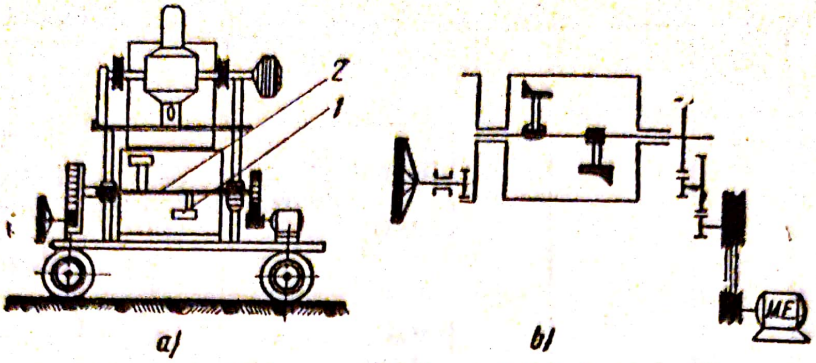


Fig. 12.7.4. Malaxor mobil cu tobă basculantă:
a — construcţia malaxorului; *b* — modul de funcţionare.

În figura 12.7.4 este prezentat principiul constructiv şi de funcţionare al malaxorului cu tobă mobilă. Toba (*1*) este confecţionată din tablă de oţel şi are forma unei jumătăţi de cilindru. Paletele montate pe arborele (*2*) au forme diferite. Acţionarea arborelui cu palete se realizează printr-un motor electric şi un sistem de roţi dinţate, iar basculare tobei se face manual, cu o manivelă amplasată lateral (fig. 12.7.4*b*).

În cazul mortarelor foarte fluide, sînt recomandate malaxoarele cu tobă fixă, golirea făcîndu-se printr-un orificiu, prevăzut fie frontal, fie în partea inferioară a tobei. Prin apăsarea manetei *2* în stînga (fig. 12.7.5), apa din reţeaua de alimentare *3*, umple rezervorul de dozare, din care poate trece în tobă prin conducta *4*. Antrenarea paletelor se face de la un motor electric, prin intermediul unui reductor cu roţi dinţate.

În vederea obţinerii unor mortare de calitate superioară, la care se impune un grad mare de omogenizare al materiilor prime, se utilizează malaxoarele cu valţuri alergătoare (fig. 12.7.6), a căror schemă de acţionare se compune din electromotorul *EM*, sistemul de transmitere al mişcării compus din piesele *6*, r_1, r_2, r_3 şi r_4 şi valţurile alergătoare *7*. Încărcarea, amestecarea şi golirea malaxorului se fac în timpul funcţionării acestuia.

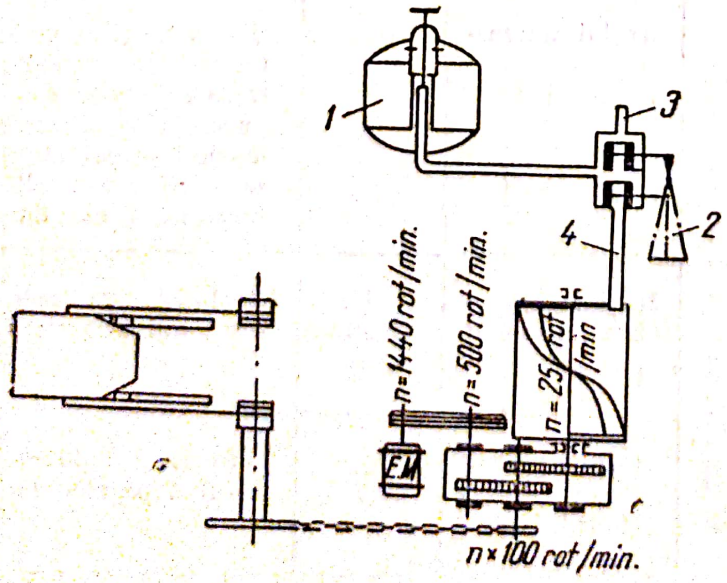


Fig. 12.7.5. Schema cinematică a malaxorului cu tobă fixă.

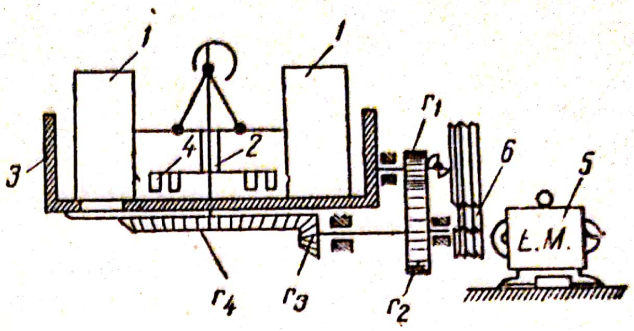


Fig. 12.7.6. Schema malaxorului cu valțuri alergătoare.

Caracteristicile tehnice ale malaxoarelor de fabricație românească sînt date în tabele.

2. *Utilaje pentru transportul mortarului.* De la malaxoare, mortarul trebuie transportat pînă la construcția în curs de finisare, fie cu dispozitive de mică mecanizare, ceea ce duce la o micșorare considerabilă a productivității, fie cu utilaje mecanizate (boburi, pompe) care dau un randament ridicat al transportului. În figura 12.7.7, este arătată schema unei instalații de transportat mortarul în clădiri cu mai multe etaje. În cadrul schemei se utilizează o pompă de mortar de debit mare *1*, care alimentează conducta 2, denumită conductă de presiune. În partea superioară, conducta 2 este unită printr-o buclă cu conducta de întoarcere *3*. Ca exemplu, în figura 12.7.8 este reprezentată pompa de mortar de fabricație „*U.M.PROGRESUL*". În schema din figura 12.7.8., pistonul plonjor *1* este acționat de către elec-

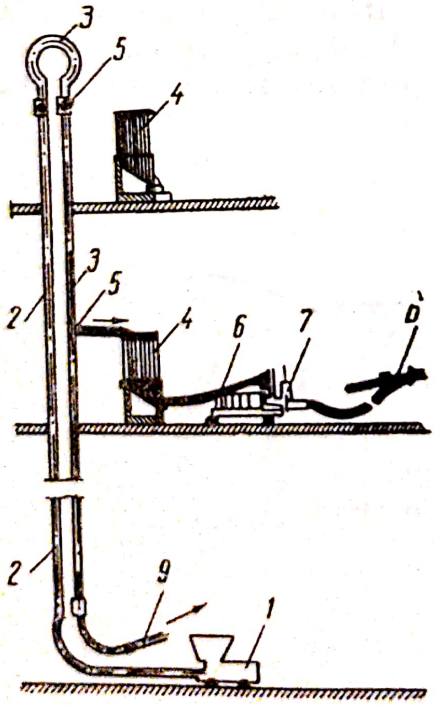


Fig. 12.7.7. Schema unei instalații de transportat mortarul.

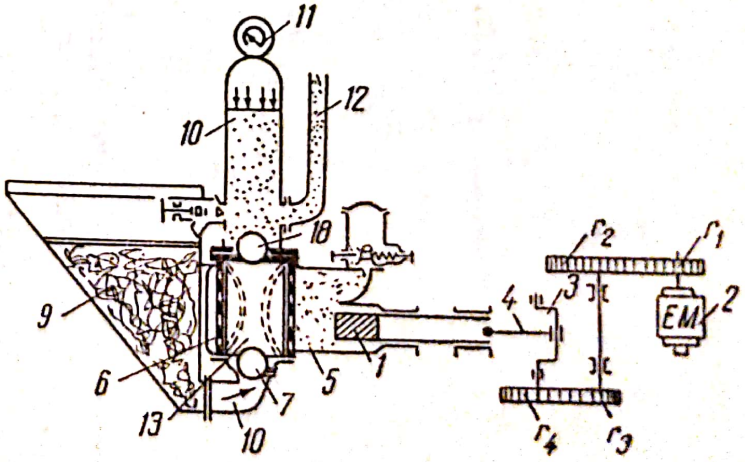


Fig. 12.7.8. Schema de funcționare a pompei „*U.M. Progresul* ".

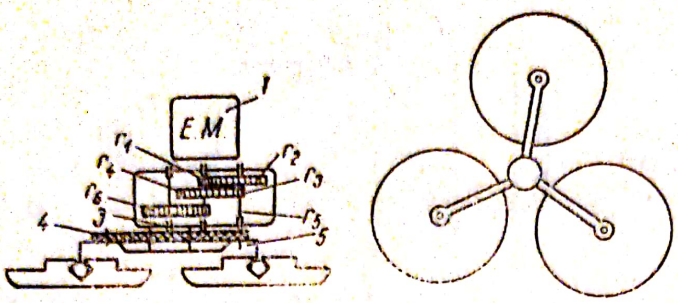


Fig. 12.7.8. Schema uneltei de drişcuit tencuieli.

tromotorul *2* prin intermediul roţilor dinţate r_1, r_2, r_3, r_4, arborele cotit *3* şi biela *4*. Mortarul este încărcat în buncărul *9*. Prin deplasarea înainte şi înapoi a pistonului în camera *13*, se creează presiune sau depresiune, mortarul fiind refulat pe conducta *12* prin jocul supapelor *7*, *8*.

În cazul pompei de tip *„CORVIN"* principiul de funcţionare este aproape de cel al pompei *„U.M. PROGRESUL"*. Mortarul refulat de pompele de mortar intră sub presiune în conducta injectorului de mortar şi apăsînd ecranul, străbate în exterior sub forma unui jet ce acoperă bine suprafaţa de tencuit. Pentru netezirea suprafeţelor tencuite se utilizează maşina de drişcuit (fig. 12.7.9), al cărei echipament de lucru este format din traversa 2 cu trei braţe antrenată de electromotorul 1 prin sistemul reductor $r_1 \ldots r_6$.

b) Maşini şi unelte pentru lucrări de zugrăveli. Aplicarea mecanizată a vopselelor se realizează prin pulverizarea lor cu ajutorul unor aparate speciale, denumite pulverizatoare, care pot fi cu acţiune rotativă şi cu şoc. În figura 12.7.3.*i* este preprezentată schema de principiu a aparatului de zugrăvit cu acţiune periodică, care funcţionează atîta timp cît presiunea din rezervor depăşeşte 2—3 atm. În cazul aparatului de zugrăvit cu acţiune continuă (fig. 12.7.3.j.), vopseaua este refulată prin furtun sub influenţa

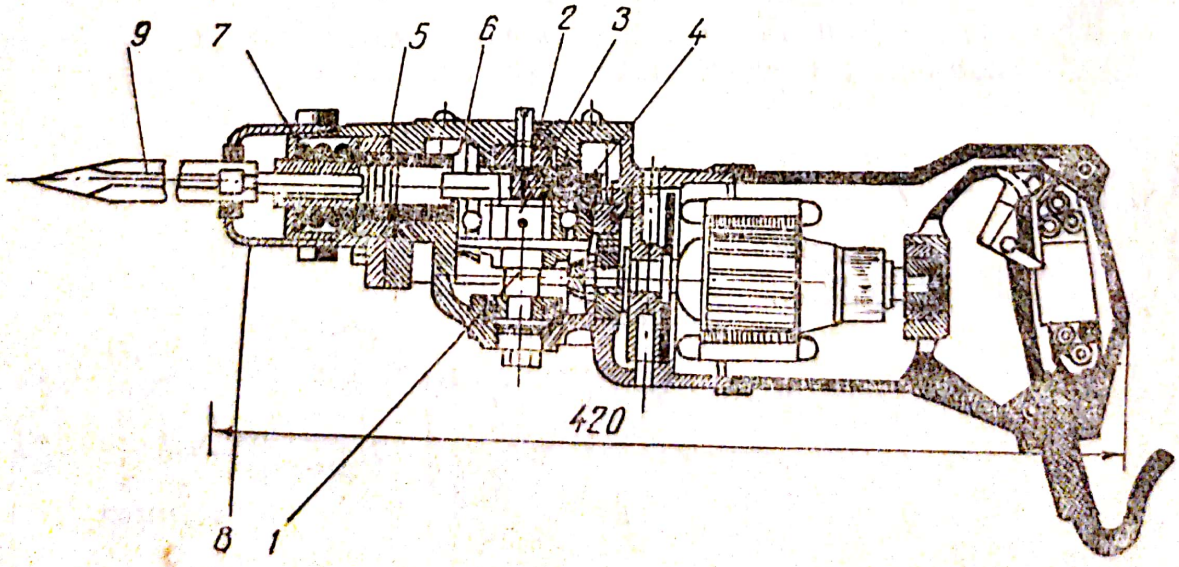


Fig. 12.7.10. Ciocanul electric *I* — 33:
1 — arbore cu manivelă; *2* — butonul manivelei; *3* — rolă; *4* — percutor; *5* — capul sculei; *6* — bucşă; *7* — arc de amortizare; *8* — portsculă; *9* — scula în formă de daltă.

presiunii de 4—6 atm., creată de către pompă. Pe măsura consumului, se face completarea compoziţiei de vopsele, cu ajutorul sorbului şi a pompei, realizîndu-se o funcţionare continuă a aparatului.

c) Maşini şi unelte mecanizate pentru finisarea mozaicului şi betonului. În figura 12.7.10. este prezentat ciocanul electric, la care organul de lucru este format dintr-o sculă percutantă în formă de daltă, acţionată de un motor electric monofazat, prin intermediul unui angrenaj conic şi al unui arbore cu manivelă. Amortizarea parţială a şocului şi revenirea sculei este asigurată de arcul 7. Frecvenţa loviturilor este de circa 2400 perc/min., iar puterea motorului de 0,36 kW.

Maşina pentru şlefuirea mozaicului (fig. 12.7.11.) este formată din blocul alergător *1* de care se fixează discul cu pietre abrazive acţionat de electromotorul *6* prin intermediul reductorului cu roţi dinţate cilindrice, *5*.

Pentru drişcuirea pardoselelor de beton se foloseşte maşina prezentată în figura 12.7.12., constituită din trei palete *1*, mişcarea acestora fiind asigurată de electromotorul *3* şi reductorul melcat *5*. Paletele pot fi înclinate, la dorinţă, pentru a se putea prelucra suprafeţe înclinate.

d) Maşini pentru finisarea lemnului. Dintre maşinile pentru lustruit parchete, mai des utilizate sînt tipurile 0—1 şi 0—8, de fabricaţie românească, prezentate în figurile 12.7. 3 *u* şi respectiv 12.7.3 z. Organul de lucru la maşina 0—1 (fig.12.7.13) este toba de lustruit *1*, pusă în mişcare printr-o pereche de roţi dinţate conice r_1, r_2, antrenate de electromotorul *2*. În vederea asigurării unor condiţii optime de lucru, aparatul este prevăzut cu un ventilator *3* antrenat prin roţile r_6 şi r_7 şi arborele *4*.

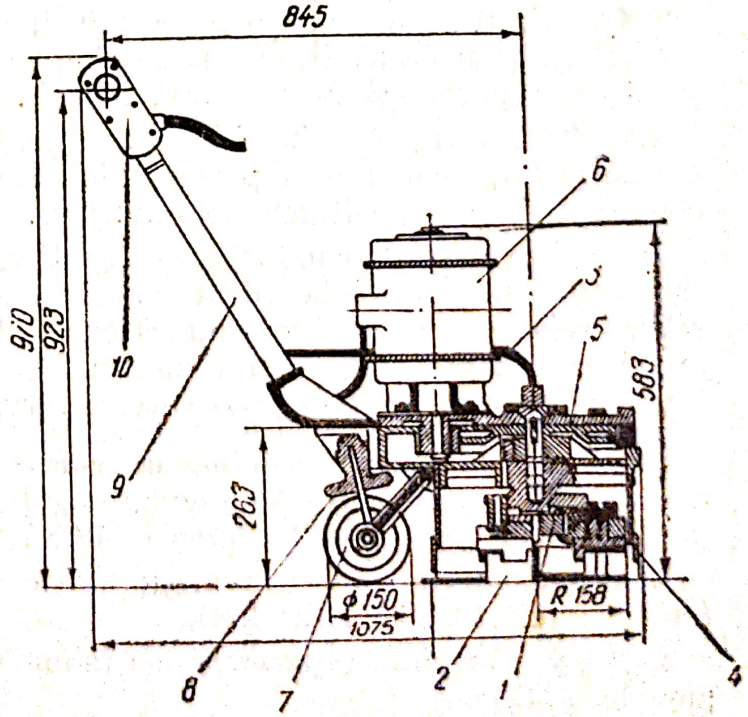


Fig. 12.7.11. Maşina de şlefuit mozaic *„Steaua roşie"*:
1 — bloc alergător; *2* — pietre de şlefuit; *3* — conductă de apă; *4* — apărătoare cilindrică; *5* — reductor; *6* — motor electric; *7* — roţi de deplasare; *8* — dispozitiv pentru reglarea înălţimii roţilor; *9* — braţ cu mîner; *10* — cutia comutatorului.

Scanned with OKEN Scanner

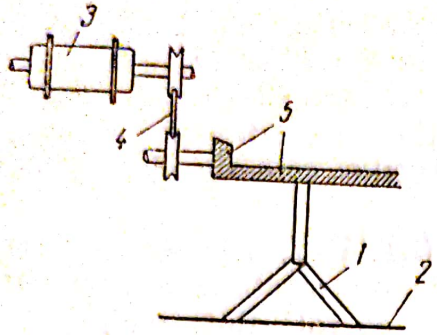


Fig. 12.7.12. Vedere generală a maşinii:
1 – 41 pentru drişcuirea şi sclivisirea suprafeţei pardoselei de beton

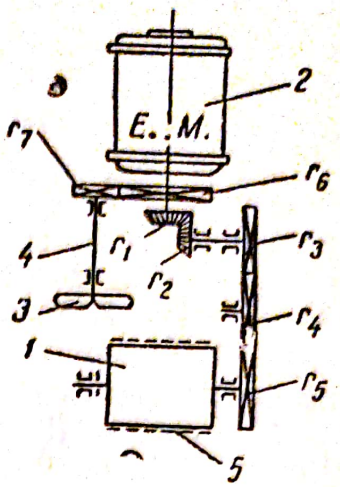


Fig. 12.7.13. Schema cinematică a maşinii de lustruit parchete.

Maşina de lustruit parchet tip 0—8, se compune în principiu din aceleaşi elemente, productivitatea ei fiind de (30—35) m²/h, adică de circa trei ori mai mare decît cea a maşinii de tip 0—1.

12.8. EXPLOATAREA ŞI REPARAREA MAŞINILOR DE CONSTRUCŢII

12.8.1. **Noţiuni generale.** Pentru o utilizare raţională a maşinilor de construcţii, pe lîngă cunoaşterea principiilor constructive, funcţionale şi a posibilităţilor de utilizare a lor, se impune respectarea unor norme de exploatare, reparare şi de protecţia muncii.

În felul acesta, se evită folosirea iraţională a maşinilor, deteriorarea şi avarierea lor, accidentarea personalului de deservire şi majoritarea costului construcţiei, prin cheltuieli neproductive.

În calitatea sa de conducător de şantier, inginerul constructor trebuie să asigure folosirea maşinilor de construcţii astfel încît să obţină o *productivitate optimă*, o îngrijire corespunzătoare a lor, în timpul şi după terminarea lucrului, repararea după un sistem de reparaţii preventive planificate, transportul între şantiere şi conservarea lor, cînd nu se folosesc.

12.8.2. **Exploatarea maşinilor de construcţii.** În exploatarea tehnică a maşinilor de construcţii, se prevăd reguli, privind o serie de probleme, prezentate în tabelele 12.8.1 pînă la 12.8.7, după cum urmează.

1. Măsuri privind folosirea maşinilor de construcţii în procesul de lucru (tabelele 12.8.1 pînă la 12. 8. 4).

2. Măsuri privind repararea maşinilor de construcţii (tabelele 12.8.5 pînă la 12.8.7).

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.8.1

Operaţii efectuate la folosirea maşinilor de construcţii în procesul de lucru

Nr. crt.	Denumirea operaţiei	Caracteristice	Observaţii
1	Alegerea maşinilor	Criterii de alegere: — după specificul muncii în sectorul de lucru — volumul de lucru, impune productivitatea şi capacitatea maşinilor alese (mari, pentru volume mari; mici, pentru volume mici) — timpul de utilizare în acelaşi loc de muncă — modalităţi de transport a maşinii la locul de muncă — lucrări de montare şi demontare a maşinii la locul de muncă	În cazul mecanizării complexe a lucrărilor, productivităţile maşinilor folosite într-un proces de lucru, trebuie corelate între ele, în funcţie de maşina principală, astfel încît timpul neproductiv al fiecărei maşini, să fie minim.
2	Alegerea persoanelor care au acces la conducerea maşinilor.	— Condiţii de acces: — personal de conducere calificat — îndeplinirea formelor legale de angajare pe post.	Personalul care conduce maşina şi instruieşte pe linie de NTS; la preluare a schimbului se face proces verbal de predare — primire.
3	Darea în exploatare a maşinilor.	Forme de respectat: — se efectuează controlul maşinii de către persoana care o ia în primire — se face încercarea maşinii la mers în gol şi în sarcină — se verifică dacă sînt complete echipamentul, agregatele, subansamblele şi trusa de scule a maşinii.	Se face proces-verbal de primire-predare, specificîndu-se starea maşinii, eventualele lipsuri şi responsabilitatea deficienţelor constatate (pentru eventualele forme de imputare), se înlătură defectele constatate, pentru a se evita agravarea lor şi uzarea prematură a maşinii.
4	Folosirea maşinii la locul de lucru.	Conducătorul utilajului trebuie să cunoască lucrarea şi norma stabilită pentru executarea ei.	La punerea în funcţie a maşinii, se respectă normele de darea în funcţie a ei.
5	Alimentarea maşinii.	Maşinile se alimentează zilnic, cu combustibilul indicat de uzina constructoare, în cantitatea necesară îndeplinirii normei de lucru.	Printr-o fişe de consum, se urmăreşte consumul de combustibil, în vederea respectării normelor de consum a realizării de economii de combustibil şi, în cazul consumurilor prea mari, a detectării cauzelor (condiţii grele de muncă, defecţiuni, folosirea maşinii în afara intereselor de serviciu).

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.8.2

Lucrări de întreținere a mașinilor de construcții

Nr. crt.	Lucrarea	Operații de efectuat de către personalul de deservire	Observații
0	1	2	3
1	Întreținerea zilnică	— controlul mașinii la începerea lucrului — controlul mașinii în timpul lucrului — curățirea și controlul mașinii după terminarea lucrului — înlăturarea defectelor — ungerea, conform graficului și schemei de ungere, date de uzina constructoare.	În figura 12.8.1 și tabela 12.8.3. se dă un exemplu de grafic și schemă de ungere.
2	Întreținerea tehnică (controlul tehnic).	În afară de întreținerea zilnică, se efectuează următoarele operații în plus; — controlul general al mașinii — schimbarea uleiului de ungere — curățirea sistemului de ungere — curățirea filtrelor de aer — reglarea ambreajului și frînelor — ungerea conform instrucțiunilor.	— operațiile în plus, se fac la perioade mai mari — în cadrul controlului tehnic, se fac următoarele lucrări de reparații curente, care se trec în contul reparațiilor curente: schimbarea ferodoului la frîne și ambreiaje; remedierea lagărelor și cuzineților; reglarea distribuției; etc.
3	Lucrări de întreținere de primăvară.	— se înlocuiesc lichidele de răcire antigel, din sistemul de răcire — se înlocuiesc uleiurile fluide, de iarnă, cu uleiuri mai vîscoase, de vară — se verifică filtrele de aer, acumulatoarele, carburatoarele și sistemul de aprindere — se înlătură husele și mijloacele de încălzire folosite la protecția mașinii contra frigului — alte măsuri specifice.	— Se efectuează la trecerea de la o temperatură scăzută, la o temperatură mai ridicată; defecțiunile constatate, se repară.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.8.2 (continuare)

0	1	2	3
4	Lucrări de întreţinere de toamnă.	Se efectuează operaţiile inverse celor efectuate primăvara, completate cu următoarele operaţii : — controlul conductelor în sistemul de alimentare al motorului — controlul ştergătoarelor de parbriz — izolarea conductelor periclitate de îngheţ — alte măsuri specifice.	Se efectuează la trecerea de la o temperatură mai ridicată, la o temperatură mai scăzută; defecţiunile constatate, se repară.
5	Lucrări de întreţinere de iarnă.	— Măsurările de toamnă se completează astfel : — încălzirea motoarelor cu ardere internă, înainte de pornire evitîndu-se metodele care ar putea produce fisurarea blocului motor (încălzire directă cu flacără ; turnarea de apă fierbinte în radiator ; etc) — la maşinile care folosesc apă la răcire, în cazul unei opriri mai îndelungate, se goleşte sistemul de răcire. — la umplerea sistemului de răcire cu apă, se toarnă întîi apă rece, apoi se poate turna apă mai caldă — alte măsuri specifice.	Se efectuează pe măsură ce scade temperatura mediului ambiant.

Toate măsurile, privind exploatarea (cu întreţinerea şi repararea) maşinilor de construcţii, se consemnează în anumite situaţii scriptice, necesare atît pe linie tehnică, cît şi pe linie economică — financiară şi de protecţia muncii.

În afară de acestea, se ţine evidenţa lucrului efectuat de maşinile de construcţii, care constă, dintr-o evidenţă primară (pe zi ; pe schimb), pe baza căreia se întocmeşte evidenţa lunară (pe o maşină sau pe un grup de maşini de acelaşi fel). Acestea servesc la urmărirea indicilor tehnico-economici ai maşinii şi, în cazul utilajului închiriat, la calculul sumei de plată a chiriei.

12.8.3. **Repararea maşinilor de construcţii.** În timpul lucrului, datorită unui complex de factori, condiţionaţi de modul de funcţionare a maşinii, de modul de exploatare a ei, sau de condiţii externe (intemperii, agenţi chimici, praf, material prelucrat, etc), piesele maşinii se uzează, ceea ce impune repararea sau înlocuirea lor.

Avînd în vedere uzura diferită a pieselor componente a maşinii, pe bază de consideraţii tehnico — economice şi experienţă practică, s-au stabilit

Tabela 12.8.3

Metode de depozitare (conservare) a maşinilor de construcţii

Nr. crt.	Felul depozitării.	Operaţii ce se efectuează de către personalul de deservire.	Observaţii
1	Depozitarea de scurtă durată.	— se curăţă maşina — piesele de schimb şi trusa de scule se predau la magazie — maşinile cu roţi metalice sau şenile, se aşează pe platforme de scîndură — maşinile cu roţi de cauciuc, se ridică pe suporţi	— înainte de depozitare, maşinile se repară — maşinile depozitate spre conservare, se controlează periodic (cel puţin lunar) — dacă maşina nu este depozitată într-un loc păzit, se asigură paza ei.
2	Depozitarea de lungă durată.	Faţă de măsurile prevăzute la depozitarea de scurtă durată, se prevăd, în plus, următoarele operaţii: — golirea apei de răcire — golirea rezervoarelor de combustibil — descărcarea sistemelor de acţionare hidraulice, pneumatice sau cu cablu (mecanice) — demontarea şi conservarea elementelor care se pot degrada datorită intemperiilor (curele de transmisie; tuburi de cauciuc; acumulatoare electrice; etc)	

perioadele de efectuare a reparaţiilor, la anumite intervale, în funcţie de caracterul şi volumul lor (tabelele 12.8.5 pînă la 12.8.7).

Cele trei categorii de reparaţii curente, medii şi capitale, se pot efectua în două sisteme, după necesitate şi preventive planificate, folosindu-se metodele de reparare individuală sau de reparare pe agregate.

12.8.4. **Noţiuni de tehnica securităţii muncii.** Accidentele care pot surveni la locul de lucru cu maşinile de construcţii, prezentă aspecte complexe, în funcţie de cauzele care le produc.

Cauzele accidentelor pot avea un caracter general, determinat de modul de organizare a locului de muncă (tab. 12.8.8) sau un caracter specific, funcţie de activitatea depusă (tab. 12.8.9). În tabelele amintite, sînt indicate şi regulile generale de evitare a accidentelor şi înlăturare a cauzelor care duc la apariţia lor.

În afară de regulile generale, există reguli specifice de protecţia muncii care se referă atît la domenii de specialitate (de exemplu în instalaţiile electrice,

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.8.4

Metode de transport a maşinilor de construcţii

Nr. crt.	Metoda de transport	Caracteristici	Observaţii
1	Pe calea ferată.	Se foloseşte pentru distanţe mari, necesitînd uneori demontări parţiale, pentru încadrarea în gabaritul căii ferate; încărcarea utilajului în vagoane se face de pe rampele de încărcare CFR, sau rampe speciale.	— transporturile se efectuează în scopul deplasării maşinilor între punctele de lucru — la transportul pe calea ferată, este bine să se prevadă un însoţitor al maşinii — se golesc rezervoarele de apă şi combustibil — se prevede fixarea utilajului, longitudinal şi transversal
2	Cu ajutorul remorcilor grele	Se efectuează transporturi pînă la 100 km şi chiar mai mult, în cazul drumurilor de acces bune, avantajul constînd în rapiditatea deplasării la locul de lucru, chiar a unor maşini cu gabarite mai mari.	
3	Cu ajutorul autocamioanelor	Se foloseşte la transportul utilajelor mici, uşoare).	
4	Cu sistem propriu de propulsie.	Se foloseşte în cazul deplasărilor mici	Metoda se foloseşte, de obicei, la deplasări în interiorul şantierelor, în incinta oraşelor, etc.
5	Prin remorcare.		

centrale termice, ateliere de maşini unelte, etc), cît şi la tipuri de maşini. Acestea sînt cuprinse în normative privind lucrul în condiţiile respective.

Întregul personal care deserveşte un şantier (sau orice punct de lucru), trebuie să efectueze un instructaj privind normele de tehnica securităţii, care se consemnează într-o fişe de instructaj, semnată de persoana care a fost instruită, de cea care a făcut instructajul şi de către conducătorul unităţii. Personalul este admis la lucru numai după efectuarea acestui instructaj. Uneori, este necesară instruirea personalului la trecerea de la un loc de muncă, la alt loc, chiar cu profil asemănător, avîndu-se în vedere anumite condiţii specifice de lucru, de organizare, etc.

Instructajul nu scuteşte de responsabilitate pe conducătorii unităţilor, care sînt obligaţi să impună luarea tuturor măsurilor de prevenire a accidentelor la locul de muncă. Totodată, se va face verificarea la timp a maşinilor şi aparatelor supuse verificării Direcţiei generale a metrologiei.

Conducerea unităţii, este datoare să verifice modul de efectuare a instructajului de *NTS*, de către personalul în subordine şi să urmărească respectarea strictă a prevederilor legale.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.8.5

Categorii de reparaţii

Nr. crt.	Categoria	Lucrări efectuate	Locul de reparare	Observaţii
1	Reparaţii curente.	Reparaţii mici: înlocuirea sau repararea unor subansamble deteriorate în cazul exploatării normale şi a conducerii sau întreţinerii defectuoase (înlocuiri de cuzineţi; schimbări de arcuri)	La locul de lucru sau de garare a maşinii (fără introducerea în atelierul de reparaţii).	Durată de reparare mică (cîteva ore; 1—3 zile) se fac fără demontare, sau cu demontare parţială a unor subansamble mici.
2	Reparaţii medii.	Reparaţii medii: — repararea pieselor care pot fi recondiţionate şi înlocuirea pieselor cu grad de uzură mare, deteriorate după un volum mai mare de muncă.	La locul de lucru sau în atelierul de reparaţii.	Durată de reparare de 20—30 zile; necesită demontarea subansamblelor principale.
3	Reparaţii capitale.	Reparaţii mari, în scopul de a readuce maşina cît mai aproape de starea iniţială: trierea pieselor (bune, reparabile, de înlocuit) la un grad mare de uzură a maşinii, revopsirea şi reasamblarea ei.	În atelierul de reparaţii sau la întreprinderi specializate.	Durată de reparare de 30—45 zile; necesită demontarea completă a maşinii; cînd costul reparaţiei este apropiat de costul utilajului nou, se procedează la casare.

Tabela 12.8.6

Sisteme de reparaţii

Nr. crt.	Sistemul de reparaţii	Caracteristice	Observaţii
1	Reparaţii după necesitate.	Se efectuează la un grad de uzură înaintată, sau la ivirea unor defecte.	Se foloseşte în cazuri izolate; periclitează ritmicitatea lucrărilor; costă mult şi uneori nu se pot face.
2	Reparaţii preventive planificate.	Sistemul prevede repararea maşinii după un anumit volum de lucru sau după o perioadă de funcţionare normală, înainte de a ajunge în stare de nefuncţionare.	Înlătură neajunsurile sistemului precedent; prelungeşte viaţa maşinii; micşorează pericolul avariilor, al uzurii exagerate şi al accidentelor de muncă; permite procurarea din timp a materialelor necesare reparaţiilor.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.8.7

Metode de reparare folosite în ateliere şi uzine

Nr. crt.	Metoda de reparare.	Caracteristici	Observaţii
1	Repararea individuală.	Piesele aparţinînd unei maşini, se repară şi se montează din nou pe aceeaşi maşină.	Reparaţia durează un timp mai îndelungat.
2	Repararea pe agregate.	Piesele uzate, se înlocuiesc cu piese reparate de la alte maşini.	Reparaţia durează timp mai scurt, dar necesită agregate şi maşini de rezervă; se poate aplica la reparaţiile în serie.

Tabela 12.8.8

Principalele cauze ale accidentelor, în timpul lucrului cu maşinile de construcţii şi reguli generale de remediere a lor

Nr. crt.	Cauza accidentului	Măsuri de prevenire	Observaţii
0	1	2	3
1	Acoperirea posturilor cu personal de deservire.	— Se va angaja personal calificat, conform cerinţelor de pregătire profesională, impuse de specificul muncii de la punctul de lucru considerat	Se va face instruirea personalului pe linie tehnică şi de N.T.S.
2	Cunoaşterea insuficientă a maşinii şi a modului cum trebuie condusă; alegerea necorespunzătoare a maşinii; alimentarea necorespunzătoare a maşinii	— accesul la conducerea maşinii numai pentru personal calificat — efectuarea şi controlul instructajului de N.T.S. — perfecţionarea continuă, pe linie profesională, a personalului de deservire, prin diferite metode (cursuri de perfecţionare, schimb de experienţă, examinarea cunoştinţelor periodic, etc) — respectarea instrucţiunilor de manevrare în procesul de lucru (tabela 12.8.1)	se vor ţine la zi diferitele evidenţe scriptice, impuse de folosirea maşinii în procesul de producţie (procese verbale de predare-primire; evidenţa consumurilor; etc); se vor respecta prescripţiile de conservare şi transportare a maşinilor.

Tabela 12.8.8. (continuare)

0	1	2	3
3	Defectarea maşinii, datorită întreţinerii defectuoase.	— respectarea normelor de întreţinere zilnică, de primăvară, de toamnă, de iarnă; control tehnic riguros (tabela 12.8.2)	
4	Defectarea maşinii prin nerespectarea condiţiilor de reparare.	— se va respecta programul de reparaţii (tabelele 12.8.6 şi 12.8.7) — se vor face reparaţii de calitate bună (a se evita improvizaţiile) — după reparare, se va face o recepţionare riguroasă — se vor casa maşinile cu grad de uzură prea mare	se vor ţinea la zi evidenţele scriptice legate de procesul de reparaţie (norme pentru planificarea reparaţiilor, conform tabelei 12.8.9; procese verbale de recepţie, de constatare a stării maşinii
5	Organizarea incorectă a locului de muncă.	se vor respecta toate prescripţiile, privind organizarea corectă a şantierelor	
6	Cunoaşterea insuficientă a regulilor de tehnica securităţii.	se va realiza instruirea completă a personalului pe linie de N.T.S.	— conducerea şantierului va efectua controalele pervăzute în NTS, privitoare la instructaj, dispozitive de protecţie, etc.
7	Lipsa sau starea defectuoasă a organelor de protecţie (balustrade, apărători la piesele în mişcare etc).	Se vor completa şi se vor întreţine în stare bună, dispozitivele de protecţie.	
8	Starea necorespunzătoare a instalaţiilor şi utilajelor electrice, fixe şi mobile.	— se va face o întreţinere riguroasă a utilajelor şi instalaţiilor electrice — se va controla periodic starea izolaţiei la utilajele şi instalaţiile electrice — se vor prevedea prize de pământ, a căror rezistenţă se va măsura periodic (unde este cazul)	— se vor excuta instalaţii electrice corecte, cărora li se va face o recepţie riguroasă (a se evita improvizaţiile) — se vor respecta normele de securitate, referitoare la instalaţiile electrice (recepţie, exploatare, instructaj, echipament şi mijloace de protecţie)
9	Nesemnalizarea punctelor cu pericol sporit.	Semnalizarea, prin afişare, a locurilor periculoase.	Afişele conţin indicaţii asupra genului de pericol şi, în unele cazuri desene, reprezentînd accidentul.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.8.9

Reguli generale de protecţia muncii, în funcţie de activitatea desfăşurată

Nr. crt.	Activitatea	Măsuri de protecţie	Observaţii
0	1	2	3
1	Înainte de începerea lucrului.	— se verifică, în gol şi în sarcină, starea maşinii, a mecanismelor, a instrumentului de lucru — se alimentează maşina	Se încheie proces verbal de primire-predare
2	În timpul lucrului.	— se manevrează maşina conform prescripţiilor	se urmăreşte modul de funcţionare în timpul lucrului
3	La terminarea lucrului	Se fac lucrările de întreţinere prevăzute	
4	La depozitare	Se iau măsurile de depozitare prescrise	
5	La transport	Se iua măsurile de siguranţă prescrise	
6	La lucrările de reparaţii sau de curăţire a organului de lucru (cupă de excavator, tobă betonieră etc.)	— se pun piedici la roţile maşinii — se descarcă mecanismele (coborînd cupa, lama, etc. pe pămînt sau pe suporţi de lemn) — se deconectează instalaţia electrică a maşinii	Se vor lua măsuri contra deplasării libere a întregii maşini sau a unor organe ale ei
7	Operaţii de montare de montare	— pentru lucru se folosesc unelte corespunzătoare, în stare bună (chei vinciuri, macarale, etc) — la ridicarea pieselor grele sau a maşinilor, este bine să se folosească, suplimentar suporturi din traverse de lemn clădite în cruce	În cazul maşinilor mari, complicate, cu piese grele, se va respecta un anumit plan de montare — demontare
8	Circulaţia pe căi de acces; munca în apropierea unor maşini	se îngrădesc cu apărători piesele în mişcare, aşezate în apropierea căilor de acces, a locurilor de trecere sau ale punctelor de lucru, situate în apropierea pieselor în mişcare (transmisii cu roţi dinţate, cu lanţ, cu curele, volanţi manivele, etc.	

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 12.8.9 (continuare)

0	1	2	3
9	Cazul lucrului a două persoane, una pe maşina — remorcher şi alta pe maşina remorcată (greder, greder elevator, etc.) sau a lucrului în două puncte corelate (ascensor, etc)	se interzice: — aflarea unor persoane între tractor şi maşina remorcată — trecerea peste dispozitivul de remorcare — urcarea sau coborîrea de pe maşini, în timpul deplasării În timpul transportului, se asigură la maşina remorcată o frînare sigură sau se execută remorcarea cu ajutorul unei bare rigide, suficient de rezistenţă	Se coordonează mişcările celor două maşini stabilindu-se un sistem eficient de semnalizare sonoră sau optice (fluier, clopot, telefon, semnale luminoase), etc.
10	La lucrul cu mai multe maşini, aşezate în flanc, în linie sau dispersat (maşini mobile).	— se asigură între ele distanţa necesară pentru evitarea accidentelor desfăşurarea lucrului în bune condiţii, si controlul lor — la maşinile aşezate în flanc (una după alta), se asigură distanţa necesară frînării	
11	Lucrul în timpul nopţii	se asigură: — iluminarea frontală, pentru iluminarea drumului, a frontului de lucru şi a spaţiilor învecinate — iluminarea organelor de lucru şi a manetelor de comandă — iluminarea şi semnalizarea în spatele maşinii	În afară de aceasta, se prevede iluminarea şantierului, în întregime, conform prescripţiilor
12	Lucrul cu maşini staţionare	Maşinile se consolidează în fundaţii corespunzătoare, astfel încît să fie excluse deplasările sau răsturnările, datorite greutăţii sau forţelor de lucru	La aşezarea maşinilor se asigură în jurul lor spaţiul necesar deservirii, controlului, întreţinerii şi reparării lor

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

Partea întîi

Antoniu, I.S. — *Aparate de măsurat și măsurări electrice uzuale*, București Editura tehnică, 1962.

Bădulescu, N. — *Linii și stații electrice, Îndrumător*. Ediția a treia, București, Editura Tehnică 1967.

Boțan, N. V., ș. a. — *Curs de acționări electromecanice și automatizări*; București, Editura didactică și pedagogică, 1962.

Brașovan, M. — *Acționări electrice. Probleme și aplicații industriale*. București, Editura tehnică, 1963.

Budeanu, C. I. — *Sistemul practic general de măsuri și unități*. București, Editura academeiei R.P.R., 1956.

Chiriță, Gh., Alexe, C. — *Cartea instalatorului electrician*. București, Editura tehnică, 1966.

Dancea, I. — *Curs de electronică industrială, elemente de reglaj și automatizare*. Litografia I.P. Cluj, uz intern, 1967.

Dumitrescu, Al. — *Instalațiile electrice ale șantierelor de construcții*. București, Editura tehnică, 1960.

Feldman, V., Văleanu, U. — *Utilizarea rațională a energiei electrice*. București, Editura tehnică, 1966.

Goga Gh. și colectiv — *Tuburi electronice și dispozitive semiconductoare*. București, Editura tehnică, 1964.

Lazu, C. și Trufin, E. — *Electrotehnică generală*. Vol. 1 și II. București, Tipografia învățămîntului, 1958.

Manolescu, P. — *Măsurări electrice*. București, Editura tehnică, 1966.

Milea, A. și Popovici, A. — *Inițiere în electronică*. București, Editura tehnică, 1964.

Patachi, N. — *Electrotehnică generală și utilaj electric în construcții*. București, Editura didactică și pedagogică, 1962.

Patachi, N. — *Curs de măsuri electrice*. Litografia I.P. Cluj, uz intern, 1962.

Patachi, N., Dancea, I. și Babeș V., — *Electrotehnică și instalații electrice*. Litografia I.P. Cluj, uz intern, 1966.

Patachi N., Babeș, V., și Băilă, N. — *Îndrumător de lucrări de laborator la electrotehnică și instalații electrice*. Litografia I.P. Cluj, 1966.

Scanned with OKEN Scanner

Patachi, N., Babeș, V. și Dancea, I., *Îndrumător de lucrări de laborator la măsuri electrice.* Litografia I.P. Cluj, uz intern, 1967.

Preda, M., Hortopan, V. *Electrotehnică și măsuri electrice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1967.

Prodea, V. *Construcția și exploatarea instalațiilor de iluminat din întreprinderile industriale.* București, Editura Tehnică, 1967.

Radovici, B., Ionescu, G., *Electrotehnică, măsuri și mașini electrice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1966.

Roman Stere., *Dispozitive semiconductoare.* București, Editura tehnică, 1964.

Seewaldt H., *Scheme electrice de acționare a mașinilor și agregatelor.* București, Editura Tehnică, 1966.

Simulescu, D., Huhulescu, M., *Aparate electrice de joasă tensiune.* București, Editura tehnică, 1962.

Stavrescu, A. *Instalații electrice de lumină și forță.* București, Editura tehnică, 1958.

Timotin, A., Hortopan V., ș.a. *Lecții de bazele electrotehnicii.* Vol. I și II, București, Editura didactică și pedagogică, 1966.

*** *A.T.M., No.* 1. București, Editura tehnică, 1964.

*** *C.S.C.A.S. Normatic pentru proiectarea, executarea și recepționarea lucrărilor de instalații electrice cu tensiuni pînă la* 1000 *V., la construcții civile și industriale.* Indicativ I — 7.62

*** *Indicatorul Standardelor de Stat* 1967. București, 1967.

*** *Manualul arhitectului proiectant.* vol. I, București, Editura tehnică, 1954.

*** *Manualul inginerului electrician.* vol. I, II, III, IV, București, Editura tehnică, 1967

*** *M.E.E. Norme de tehnica securității pentru instalații electrice de joasă tensiune, I.P.H.C.* București, 1965.

*** *M.E.E. Norme de tehnica securității pentru instalații electrice de înaltă tensiune — I.P.H.C.* București, 1965.

Denis — Papin, Fouillé A., *Métrologie appliquée.* Dunod Paris, 1966.

Grave, H.F., *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice* (trad. din l. germană), București, Editura tehnică, 1966.

Hippel, A.R. von *Les Diélectriques et leurs applications.* Dunod, Paris, 1961.

Horizomenov, I.V., *Acționarea electrică a mașinilor unelte.*

Levi, S.S, *Acționarea electrică a mașinilor de construcție și alimentarea cu energie electrică șantierelor* (trad. din l.rusă). București, Editura tehnică, 1956.

Scanned with OKEN Scanner

Neiman, L.R., şi Kalantarov, P.L. — *Bazele teoretice ale electrotehnicii*, vol. I şi II (trad. din l. rusă), Bucureşti, Editura energetică de stat, 1955.

*** — *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale* (trad. din l. rusă completată şi adnotată). Editura tehnică, Bucureşti, 1965.

Strnad, J. — *Electronica tehnică* (trad. din l. cehă) Bucureşti, Editura tehnică, 1959.

Beerens, A.C.J. — *Appareils et méthodes de mesure en technique électronique*. Bibliothèque technique Philips, Dunod, Paris, 1965.

Fribance A.E. — *Industrial Instrumentation Fundamentals*, Mc. Graw Hill, 1962.

Golding, E.W. — *Electrical Measurements and Measuring Instruments* IV edition, Pitman Sons, Ltd, London, 1961.

Thurin J., — *Mesures électriques et électroniques*, EYROLLES, Paris, 1964.

Partea a doua

Cosoroabă, V. — *Compresoare de aer cu piston*. Editura tehnică, Bucureşti, 1964.

Csulak, A. — *Curs de maşini de construcţii*. Manuscris, Cluj 1967.

Cuşută ş.a. — *Tehnologia materialelor şi maşini unelte*.

Fleşeru, E. M — *Maşini de construcţii*. Vol. I, II, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1965.

Minoiu, I. — *Organe de maşini*. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1965.

Peicu, Radu, Adrian — *Maşini pentru construcţii de drumuri şi poduri*. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1961.

Popa Bazil ş.a. — *Termotehnică şi maşini termice*. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1964.

Popescu P. ş. a. — *Maşini de construcţii*. Bucureşti, Editura tehnică 1966.

Şerban, Dragoş. — *Maşini de construcţii şi rutiare*. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1961.

Scanned with OKEN Scanner

TABLA DE MATERII

Partea întîi

ELECTROTEHNICĂ ŞI INSTALAŢII ELECTRICE

Cap. I **Introducere** 4

1.1. Obiectul şi conţinutul cursului 4
1.2. Mărimi fizice; unităţi de măsură; semne convenţionale 4

Cap. II **Recapitularea principalelor noţiuni de bazele electrotehnicii** 15

2.1. Electrostatica 15
2.2. Electrocinetica 29
2.3. Electrodinamica 51
2.4. Curentul alternativ 75
2.5. Elemente neliniare în circuitele electrice 102
2.6. Regimul tranzitoriu al circuitelor electrice 123

Cap. III **Măsuri electrice** 128

3.1. Instrumente de măsură electrice 128
3.2. Măsurători în circuitele de utilizare a energiei electrice. 149
3.3. Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice 158

Cap. IV **Maşini electrice** 181

4.1. Maşini electrice de curent continuu 181
4.2. Generatorul de curent continuu 186
4.3. Motorul de curent continuu 192
4.4. Transformatoare electrice 200
4.5. Maşina sincronă 215
4.6. Maşina asincronă 217
4.7. Principii generale ale acţionărilor electrice 235
4.8. Comanda automată a acţionărilor electrice 242

Cap, V **Instalaţii electrice şi utilizări ale energiei electrice în construcţii** 258

5.1. Materiale electrotehnice utilizate în instalaţiile electrice 258
5.2. Producerea energiei electrice 269
5.3. Transportul şi distribuţia energiei electrice 271

Scanned with OKEN Scanner

Cap. VI **Unele utilizări ale energiei electrice în construcții** 308

6.1. Iluminatul electric 308
6.2. Instalații de încălzire electrică în lucrările de construcții 327
6.3. Sudura electrică 335

Cap. VII **Protecția muncii și tehnica securității în instalații electrice** 338

Cap. VIII **Alimentarea cu energie electrică a șantierelor de construcții** 347

8.1. Principii generale 347
8.2. Principii de organizare a șantierului din punctul de vedere al alimentării cu energie electrică 348

Partea a doua

MAȘINI DE CONSTRUCȚII

Cap. IX **Noțiuni introductive** 356

9.1. Importanța mecanizării în construcții 356
9.2. Noțiuni generale 356

Cap. X **Noțiuni privind principalele organe de mașini** 359

10.1. Noțiuni generale 359
10.2. Organe de mașini de asamblare fixe și demontabile 359
10.3. Organele mișcării de rotație 363
10.4. Organele pentru transmiterea mișcării de rotație 367

Cap. XI **Motoare. Pompe. Compresoare** 374

11.1. Principalele tipuri de motoare folosite la mașinile de construcții 374
11.2. Pompe și compresoare 382

Cap. XII **Mașini de construcții** 389

12.1. Mașini și instalații de transport 389
12.2. Mașini pentru lucrări de terasamente 433
12.3. Mașini pentru pregătirea agregatelor și prepararea betoanelor 456
12.4. Mașini pentru prepararea, transportul și punerea în operă a amestecurilor de beton și mortar. Instalații și utilaj pentru stingerea varului 468
12.5. Mașini specifice unor ateliere de șantier 482
12.6. Mașini pentru lucrări speciale 495
12.7. Dispozitive și scule de mică mecanizare 506
12.8. Exploatarea și repararea mașinilor de construcții 518
Noțiuni de tehnica securității 522

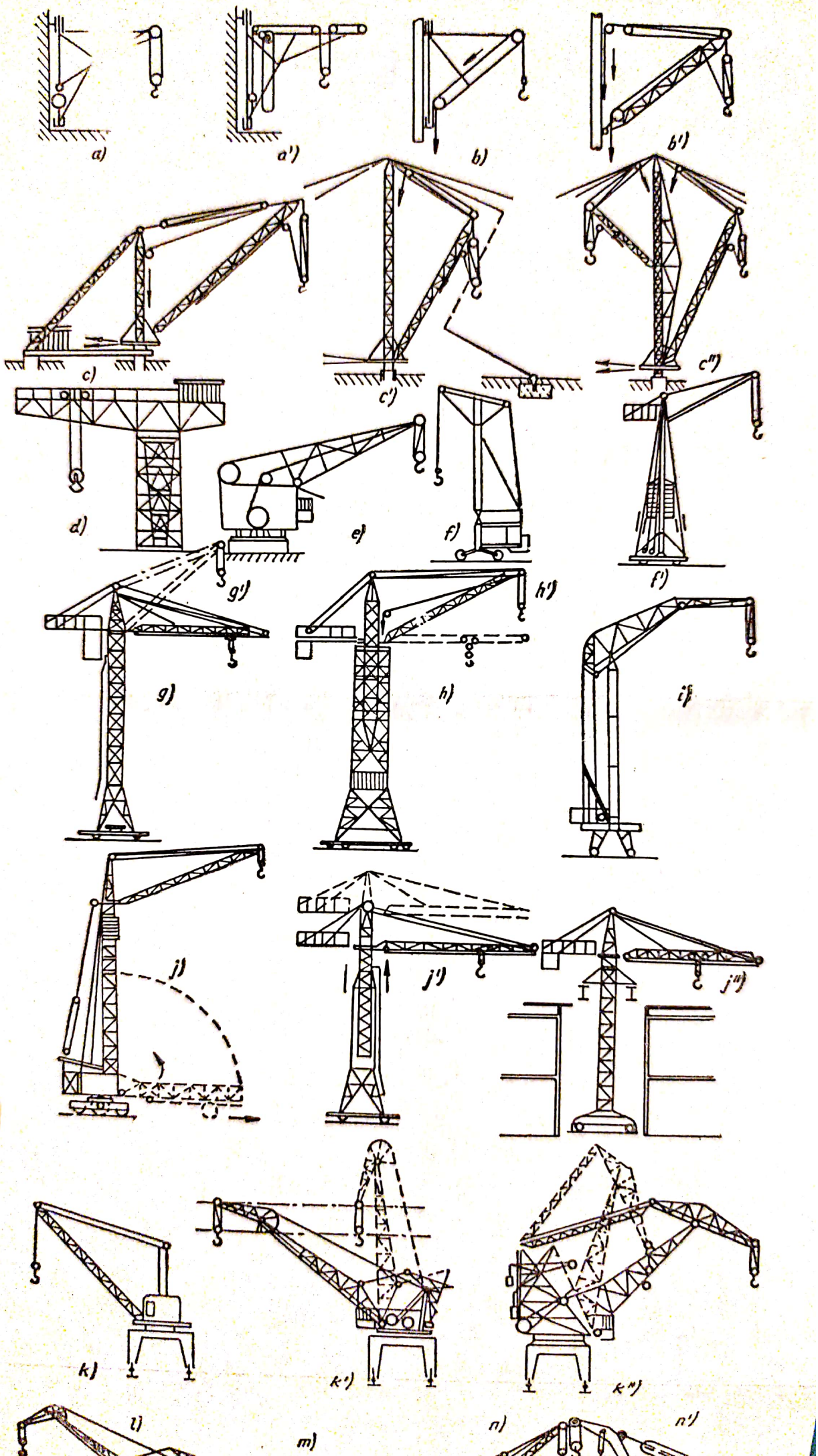
Bibliografie 529

Scanned with OKEN Scanner

Coli de tipar: 33,5 + 1 planșă

Întreprinderea Poligrafică Cluj
Str. Brassai 5—7
Republica Socialistă România
Comanda Nr. 584/1970 — 2570

Scanned with OKEN Scanner



Scanned with OKEN Scanner

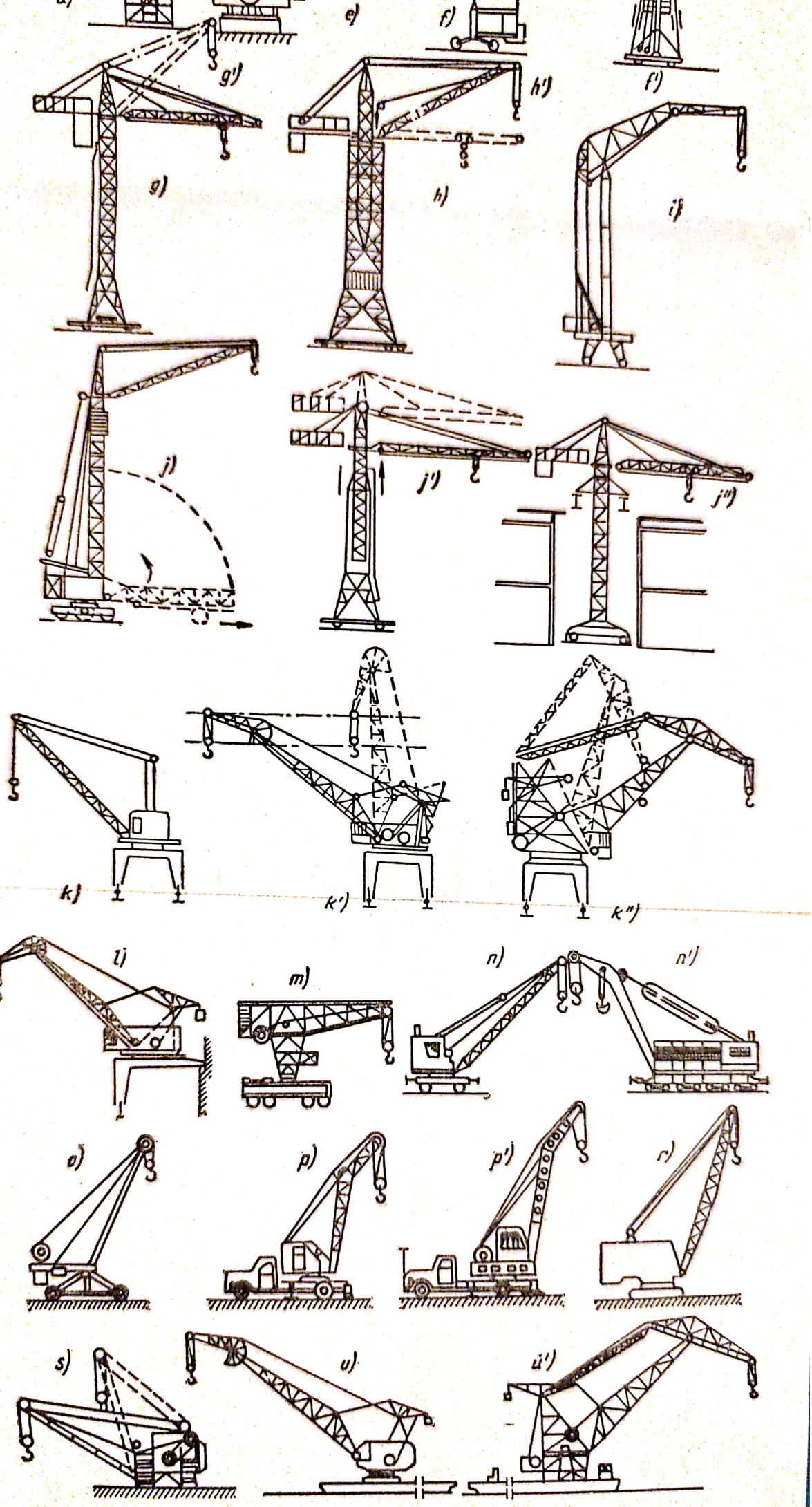


Fig. 12.1.24. Macarale rotitoare (vezi și tabela 12.1.17).

Scanned with OKEN Scanner